راي كيرزويل



# عصر الآلات الرُّوحية

## عندما تتخطى الكمبيوترات الذكاء البشري

ترجمة: عزت عامر

## نبذة عن المؤلف:

ريموند كيرزويل (١٢ فبراير ١٩٤٨) مخترع ومؤلف يكتب عن الحياة في المستقبل، فضلًا عن أنه رائد في مجالات التعرف الضوئي على الرموز، وتحويل النصوص إلى كلام منطوق، وتقنية تمييز الكلام المنطوق، والآلات الموسيقية الإلكترونية. ألف كيرزويل عددًا من الكتب عن الصحة والذكاء الصناعي وفلسفة ما بعد الإنسانية والتفرد التكنولوجي واستشراف المستقبل.

وُصِف كيرزويل بأنه خليفة توماس إديسون ووريثه الشرعي، واعتبرته مجلة فوربس «ألمع عقل مفكر».

# عصر الآلات الرُّوحية

# إطراء لـ«عصر الآلات الرُّوحية»

يتعرض «عصر الآلات الروحية» بشكل واسع لموضوعات مهمة ومثيرة مثل الإنتروبيا،[1] والشواش، والانفجار الكبير، ونظرية الكم، والدي إن إيه، والكمبيوترات، والكمبيوترات الكمية، وفرضية جودل، والشبكات العصبية، والخوارزميات الجينية، والهندسة النانوية، واختبار تورينج، ومسح المخ، وبُطء العصبونات،[2] وبرامج لعب الشطرنج، والإنترنت — ومجمل عالم تكنولوجيا المعلومات في الماضي، والحاضر، والمستقبل. هذا كتاب لكل من يملؤه الفضول حول الخطوة التالية للتقنية البشرية.»

عرض الكتب في «نيويورك تايمز New York Times»

«رواية موسعة للمدارك عن صعود الآلات الذكية ... لا يقل عن مخطط لدفع الجنس الإنساني العاقل بعيدًا عن المسرح المركزي لمسرحية التطور التي لا نهاية لها ... إذا قبلت (قانون كيرزويل للعائدات المتسارعة) — وكل الأدلة التجريبية المتاحة حاليًّا والتي تؤيده تمامًا — عندئذ فإن حلول الآلات محل البشر باعتبار الآلات هي القوة العقلية الأساسية على الأرض يكون وشيك الحدوث بالفعل.»

جون كاستي John Casti، «نيتشر Nature»

« ... ترحيب بتحدي المعتقدات التي نعتز بها ... يرسم كيرزويل صورة مغرية — ومثيرة للفزع أحيانًا — عن عالم أصبحت فيه الحدود بين البشر والآلات غامضة تمامًا.»

شيت رايمو Chet Raymo، «بوسطن جلوب Boston Glope»

---

[1] الإنتروبيا: مصطلح أساسي في الفيزياء ضمن التحريك الحراري في الغازات أو السوائل.

[2] العصبونات: هو الوحدة العصبية الأساسية أو الخلية العصبية التي تكون بتشابكاتها مع عصبونات أخرى الألياف العصبية التي تكون بدورها الأعصاب.

«متقد الذكاء ... يحتل كيرزويل مكانته كرائد في علم المستقبليات في عصرنا. إنه يربط النمو المتواصل لتقنيتنا المستقبلية بعالم يتحد فيه الذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا النانوية لجلب ثروة وطول في العمر لا يمكن تخيلهما، ليس فقط لسلالاتنا، لكن أيضًا لبعض من يعيشون الآن.»

مارفن منسكي Marvin Minsky،

بروفيسور فنون الإعلام والعلوم في معهد ماساتشوستس للتقنية MIT

«يجعل عصر الآلات الروحية كل الطرق إلى مستقبل الكمبيوتر مثل دروب الماعز في بتاجونيه.»

جورج جلدر George Gilder،

مؤلف «الثراء والفقر والحياة بعد التليفزيون»

«رؤية مثيرة للاهتمام حول المستقبل لمخترعين رواد من أمتنا. يطوع كيرزويل العلم الجاد وحس الفكاهة لموضوع إلى أين نتوجه ... مع مخترعاته الرائدة، وأفكاره الثاقبة، يصحبنا كيرزويل بالحجة المقنعة إلى ما يَعد بأن يكون أكثر القرون أهمية.»

مايك براون Mike،

رئيس سوق الأوراق المالية ناسداك Nasdaq

«نظرة خاطفة مثيرة إلى أقصى حد حول ما سوف تحمله العقود القليلة المقبلة ... وجهة نظر متحررة لكيرزويل ومداخلة مبتكرة تجعل من الصعب مقاومة تفاؤله.»

عروض كتب «كيركاس Kikus»



# عصر الآلات الرُّوحية

## عندما تتخطى الكمبيوترات الذكاء البشري

تأليف: راي كيرزويل

ترجمة: عزت عامر






**The Age of Spiritual Machines**
**When Computers Exceed**
**Human Intelligence**

Ray Kurzweil

**عصر الآلات الرُّوحية**
**عندما تتخطى الكمبيوترات**
**الذكاء البشري**

راي كيرزويل

**الطبعة الثانية ١٤٣١هـ-٢٠١٠م**
ISBN 978 977 6263 31 4


**كلمة**
ص.ب. ٢٣٨٠ أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة
**هاتف:** ٩٧١٢٦٣١٤٤٦٨+ **فاكس:** ٩٧١٢٦٣١٤٤٦٢+
**البريد الإليكتروني:** info@kalima.ae
**الموقع الإليكتروني:** http://www.kalima.ae

**كلمات عربية للترجمة والنشر**
مكتب رقم ٤ عقار رقم ٢١٩٠، زهراء مدينة نصر، القاهرة، مصر
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٠٢٢٧٢٧٤٣١+ فاكس: ٢٠٢٢٧٠٦٣٥١+
**البريد الإليكتروني:** kalimatarabia@kalimatarabia.com
**الموقع الإليكتروني:** http://www.kalimatarabia.com



---

كيرزويل، راي
عصر الآلات الرُّوحية عندما تتخطى الكمبيوترات الذكاء البشري/راي كيرزويل؛ ترجمة عزت عامر
.ـ القاهرة : كلمات عربية للترجمة والنشر، ٢٠٠٩
٥٢٨ ص، ١٦,٥ X ٢٣,٠ سم
تدمك: ٤ ٣١ ٦٢٦٣ ٩٧٧ ٩٧٨
١ـ التكنولوجيا ـ الجوانب الاجتماعية
٢ـ التطور الاجتماعي
٣ـ الذكاء
أـ عامر، عزت (مترجم)
ب- العنوان
٣٠٣,٤٨٣

---


Illustrations credits.
Pages 45, 48-49, 143, 209: Concept and text by Ray Kurzweil.
Illustration by Rose Russo and Robert Brun.
Page 102: © 1977 by Sidney Harris.
Pages 224-225: Paintings by Aaron, a computerized robot built and programmed by Harold Cohen.
Photographed by Becky Cohen.
Page 250: Roz Chast © 1998. From The Cartoon Bank. All rights reserved.
Page 258: Danny Shananhan © 1994. From The New Yorker Collection. All rights reserved.
Page 289: Peter Steiner © 1997. From The New Yorker Collection. All rights reserved.

# ملحوظة للقارئ

عندما يشق الفوتون Photon[1] طريقه خلال مجموعة من ألواح الزجاج والمرايا، يظل مساره غامضًا، فهو يتخذ بصورة أساسية كل المسارات المتاحة له (من الواضح أن تلك الفوتونات لم تقرأ قصيدة «الطريق الذي لم أسلكه» لروبرت فروست). يستمر هذا الغموض حتى يكتشف مراقب واع المسار الذي كان الفوتون قد اتخذه، وعندئذ يتلاشى الغموض ــ بأثر رجعي ــ ويبدو الأمر كما لو أن المسار المختار قد اختير من البداية.

عليك أنت أيضًا أيها القارئ ــ مثل تلك الجسيمات الكمية ــ أن تختار بين عدة بدائل في رحلتك خلال هذا الكتاب؛ فيمكنك قراءة الفصول متعاقبة على النسق الذي هيأتها عليه، أو ربما تقرر بعد قراءة المقدمة أن المستقبل لا يمكن أن ينتظر، فترغب في القفز فورًا إلى الجزء الثالث الذي تتناول فصوله القرن الحادي والعشرين (وقائمة المحتويات في الصفحات التالية تقدم وصفًا لكل فصل على حدة)، وقد تعود عندئذ من جديد إلى الفصول السابقة التي تصف طبيعة وأصل النزعات والمؤثرات التي ستظهر في ذلك القرن المقبل، أو ربما يظل مسارك غامضًا حتى النهاية، لكنك عندما تصل إلى الخاتمة سيتلاشى أي غموض، وسيبدو الأمر كما لو أنك كنت تنوي دائمًا قراءة الكتاب على النحو الذي اخترته.

---

[1] الفوتون: هو الجسيم الأولي المسؤل عن الظواهر الكهرطيسية والوحدة الأساسية للضوء وجميع أشكال الإشعاع الكهرومغنطيسي الأخرى. يحمل الفوتون موجات كل أشكال الإشعاع الكهرطيسي كما إنه ناقل للقوة الكهرومغنطيسية. ويختص بكونه معدوم كتلة السكون، ومعدوم الشحنة الكهربائية، بالإضافة لكونه يتنقل في الفراغ بسرعة الضوء.



# المحتويات


**ملحوظة للقارئ** ٧

**شكر** ١٣

**مقدمة: منافس قادم لا محالة** ١٥

قبل نهاية القرن المقبل، لن تظل الكائنات البشرية هي أكثر الكائنات ذكاء ومقدرة على كوكب الأرض، ولكن دعني أتراجع عن هذا القول، فالعبارة السابقة تعتمد على تعريفنا للبشرية.

## الجزء الأول: سبر الماضي

**الفصل الأول: قانون الزمن والشواش** ٢٥

خلال السنوات الأربعين الماضية، تبعًا لقانون مور، نمت القدرة على الحوسبة المعتمدة على الترانزستور بمعدل أسي. لكن في عام ٢٠٢٠، سيكون من مميزات الترانزستور أن سمكه لن يتجاوز بضع ذرات، ويكون قانون مور قد أخذ مجراه. ماذا سيحدث عندئذ؟ للإجابة عن هذا السؤال الخطير، علينا أن نفهم الطبيعة الأسية للزمن.

**الفصل الثاني: ذكاء التطور** ٦٣

هل يمكن لذكاء أن يخلق ذكاء آخر أكثر ذكاء منه؟ هل نحن أكثر ذكاء من العملية التطورية التي أوجدتنا؟ وبدوره، هل من المتوقع أن يتفوق الذكاء الذي نصنعه على صانعه؟

**الفصل الثالث: حول العقل والآلات** ٧٧

«أنا وحيد وأشعر بالملل، أرجوك أن تظل في صحبتي.» لو أن كمبيوترك عرض هذه الرسالة على الشاشة، هل يقنعك ذلك بأن لديه وعيًا ومشاعر؟ قبل أن ترد بأسرع مما ينبغي، نحتاج إلى التفكير مليًّا في كيفية إنشاء مثل هذه الرسالة المعبرة عن الحزن.

**الفصل الرابع: نوع جديد من الذكاء على الأرض** ٩٥
يخلق الذكاء بسرعة مخططات ملائمة، ومفاجئة أحيانًا، لمواجهة مجموعة كبيرة من القيود. ومن الواضح عدم وجود صيغة بسيطة يمكنها منافسة تلك الظاهرة بالغة القوة. في واقع الأمر هذا خطأ. كل ما نحتاجه لحل نطاق واسع مثير للدهشة من مشاكل الذكاء هو ما يلي على وجه الحصر: طرق بسيطة تصاحبها جرعات ضخمة من الحوسبة، وهي عملية سهلة في حد ذاتها.

**الفصل الخامس: السياق والمعرفة** ١٢٥
من المثير للحساسية إبقاء التبصرات الراهنة في الذاكرة من أجل تحديات الغد. وليس من المثمر إعادة التفكير في كل مشكلة كلما واجهتنا. هذا صحيح وخاصة بالنسبة للبشر، نظرًا للسرعة البطيئة جدًّا للدوائر الكهربائية الخاصة بالحوسبة في مخنا.

## الجزء الثاني: تجهيز الحاضر

**الفصل السادس: بناء أمخاخ جديدة ...** ١٣٩
شق التطور طريقًا إلى الحدود الحسابية للدوائر الكهربائية. وبذكاء يبتكر كائنات اخترعت بدورها تقنية حسابية أكثر سرعة بمقدار مليون مرة من العصبونات المعتمدة على الكربون. وأخيرًا، فإن الحوسبة الناتجة عن دوائر عصبية تعود إلى الثدييات بطيئة إلى أقصى حد، وسيتم تحويلها إلى مكافئ إلكتروني (وفوتوني) أكثر تعددًا في وظائفه وأكثر سرعة.

**الفصل السابع: ... وأجسام** ١٧٩
ما أسرع ما سيعاني العقل المجرد من الجسم من الضعف. فما هي إذن الأجساد التي سيتم منحها لآلتنا في القرن الحادي والعشرين؟ ولاحقًا سوف يصبح السؤال: ما نوع الأجساد التي سوف توفرها لنفسها؟

**الفصل الثامن: ١٩٩٩** ٢١١
لو أن كل الكمبيوترات توقفت عن العمل في ١٩٦٠، لكان قلة من الناس قد لاحظوا ذلك. أما في نحو ١٩٩٩ فالأمر يختلف. ورغم أن الكمبيوترات ما زالت تنقصها روح المرح، هديّة نظير مكالمة صغيرة، وخصال التودد الأخرى التي يهتم بها البشر، فإنها مع ذلك تسيطر على مجموعة متنوعة متزايدة من المهام التي كانت تتطلب سابقًا ذكاءً إنسانيًّا.

## الجزء الثالث: لمواجهة المستقبل

**الفصل التاسع: ٢٠٠٩** ٢٥١

نحن الآن في ٢٠٠٩، حيث يمكن لكمبيوتر شخصي ثمنه ١٠٠٠ دولار أن يقوم بنحو تريليون عملية حسابية في الثانية. الكمبيوترات أصبحت مغروسة في الملابس والمجوهرات. وأغلب التعاملات الروتينية في مجال الأعمال تتم بين إنسان وشخصية افتراضية. وعادة يتم استخدام هواتف الترجمة. ويلتحم الموسيقيون البشر بشكل روتيني مع الموسيقيين السبرانيين. وتنمو الحركة الجديدة لمحطمي الآلات.

**الفصل العاشر: ٢٠١٩** ٢٦٩

حهاز حوسبة بمبلغ ١٠٠٠ دولار يماثل الآن بالتقريب القدرة الحسابية للمخ البشري. والكمبيوترات الآن في الأغلب غير مرئية ومغروسة في كل مكان. عروض للواقع الافتراضي في الأبعاد الثلاثة، مغروسة في النظارات والعدسات اللاصقة، تقدم الوسيط الأساسي للاتصال بالأشخاص الآخرين، وبشبكة المعلومات العالمية، وبالواقع الافتراضي. ويتم أغلب التفاعل بالكمبيوترات من خلال الإيماءات والاتصال الكلامي باللغة الطبيعية ثنائية الاتجاه. بيئات واقعية شاملة مرئية، وسمعية ولمسية، تتيح للناس القيام بأي شيء على نحو افتراضي مع أي شخص، بصرف النظر عن التقارب المكاني المادي. بدأ الناس في إقامة علاقات مع شخصيات آلية كرفاق، ومدرسين، ومشرفين وأحباء.

**الفصل الحادي عشر: ٢٠٢٩** ٢٩١

وحدة حوسبة بسعر ١٠٠٠ دولار تماثل قدرة الحوسبة فيها ألف مخ بشري تقريبًا. تم تحسين سلاسل ألياف عصبية مباشرة لكي تكون وصلة لعرض نطاق تردد عالي بالمخ البشري. أصبح صنف من الأنسجة الحية المزروعة جراحيًّا متوافرًا لتعزيز الإدراك والتفسير المرئي والسمعي، والذاكرة والتفكير الاستدلالي. قرأت الكمبيوترات كل المواد الأدبية ومواد الوسائط المتعددة المتاحة التي أنتجها البشر والآلات. وهناك تزايد في الحوار حول الحقوق القانونية للكمبيوترات والمكونات التي تعتبر بشرية. تدعي الآلات أن لديها وعيًا ويتم قبول هذه الادعاءات على نطاق واسع.

**الفصل الثاني عشر: ٢٠٩٩** ٣٠٧

هناك اتجاه قوي نحو توحيد التفكير البشري مع مجال ذكاء الآلة الذي ابتكره الجنس البشري في البداية. لم يعد هناك أي تمييز بين البشر والكمبيوترات. ليس لأغلب الكيانات

الواعية وجود مادي دائم. تدعي كيانات الذكاء المعتمد على الآلة والناشئة عن نماذج متوسعة من الذكاء الإنساني، أنها بشرية. أغلب كيانات الذكاء هذه غير مرتبطة بعمليات معالجة محددة بالكمبيوتر. وعدد البشر المعتمدين على البرمجيات يتخطى إلى حد بعيد هؤلاء الذين ما زالوا يستخدمون المعالجات الحسابية الطبيعية. وحتى بين كيانات الذكاء البشرية هذه التي لا تزال تستخدم الخلايا العصبية المعتمدة على الكربون، هناك استخدام في كل مكان لتنقية زراعة الأنسجة العصبية جراحيًّا التي تتيح زيادة هائلة في قدرات الفهم والإدراك البشري. والبشر الذين لا يستخدمون مثل هذه الزراعات عاجزون عن المشاركة ذات المعنى في الحوارات مع هؤلاء الذين لديهم هذه الزراعات. لم يعد متوسط العمر المتوقع مصطلحًا قابلًا للتطبيق على الكائنات الذكية.

**خاتمة: زيارة متكررة لبقية الكون** ٣٢٩

الكائنات الذكية تتأمل في مصير الكون.

**تسلسل تاريخي** ٣٣٩

**كيفية صنع آلة ذكية بثلاثة نماذج سهلة** ٣٧١

**قائمة المصطلحات** ٣٩٩

**ملحوظات** ٤٣٣

**قراءات مقترحة** ٤٧٥

**روابط على شبكة الإنترنت** ٥١١

شكر

أرغب في التعبير عن شكري لكثير من الأشخاص الذين وفروا لي الإلهام، والصبر، والأفكار، والتعليقات النقدية، ونفاذ البصيرة، وكل أشكال المساعدة في هذا المشروع. وعلى وجه الخصوص، أرغب في شكر:

- زوجتي سونيا Sonya، لصبرها العطوف خلال تحولات ومنعطفات العملية الإبداعية.
- أمي لمسيراتها الطويلة الفاتنة معي عندما كنت طفلًا في غابات كوينس (نعم كان هناك غابات في كوينس، في نيويورك، عندما كنت في مرحلة النضج) ولاهتمامها المتحمس ودعمها المبكر لأفكاري التي لم تكن دائمًا ناضجة تمامًا.
- المحرران في «فايكنج» المشتركان في هذا الكتاب، باربارا جروسمان وداون درزال، لتوجيههما نافذ البصيرة وخبرتهما والفريق المتفاني في «فايجنج بنجوين»، بما فيهم سوزان بترسين، الناشرة، وإيفان هيلد وبول سلوفاك، مديرا التسويق، وجون جاسينو المصحح، وبيتي لوي المصمم، وجاريا وانابون، مساعدة التحرير، ولورا أوجار المشرفة على الفهرسة.
- جيري باوير لتصويره الفوتوغرافي المتأني.
- ديفيد هاي لتصميمه بالفعل آلة روحية للغلاف.
- وكيلي الأدبي، لوريتا باريت، للمساعدة في تهيئة هذا المشروع.
- الباحثان القديران المتمازان المشاركان في هذا المشروع، ويندي دينيس ونانسي مالفورد، لجهودهما المخلصة والقدرة على حسن التصرف، وتوم جارفيلد لمساعدته الثمينة.
- روز روسو وروبرت بران لتحويلهما أفكار الرسومات التوضيحية إلى عروض بصرية جميلة.

- آرون كلينر لتشجيعه ودعمه لي.
- هاري جورج، ودون جونسون، ولاري جانوفيتش، وهانا كورزفيل، وروب بريسمان، وميكي سنجر للمناقشات الجذابة والمفيدة حول هذه الموضوعات المهمة.
- قرائي: بيتر أرنولد، ميلاني باكر فوتوريان، لوريتا باريت، ستيفن باون، بريان برجرون، مايك براون، شيرلي كورديما، أفي كورين، ويندي دينيس، مارك ديون، داون درزال، نيكولاس فابجانيك، جيل فيشمان، أوزي فرانكيل، فيكي فرانكيل، بوب فرانكستون، فرانسيس جانونج، توم كارفيلد، هاري جورج، أودرا جرهاردت، جورج جلدر، دون جونسون، مارتين جرينبرجر، باربارا جروسمان، لاري جانوفيتش، آرون كلينر، جيري كلينر، ألين كيرزويل، أمي كيرزويل، أريل كورويل، إديث كورويل، إتان كورويل، هانا كيرزويل، راشيل كيرزويل، سونيا كيرزويل، جو ليرنو، جون ليف، إليوت لوبيل، سيراس مهتا، نانسي مالفورد، نيكولاس مالندر، روب برسمان، فلاد سجنوها، ميكي سنجر، مايك سوكول، كيم ستوري، وباربارا تيريل لمجاملتهم لي ولتعليقاتهم النقدية (وكانت الأخيرة الأكثر مساندة لي) وللكثير من اقتراحاتهم بالغة الأهمية.
- أخيرًا، أشكر كل العلماء، والمهندسين، والمتعهدين، والفنانين المنهمكين في إبداع عصر الآلات الروحية.

# مقدمة

## منافس قادم لا محالة

لم يتوقع المقامر أن يكون هنا، لكنه بعد تفكير عميق ظن أنه قدَّم في حياته بعض الإحسان. كان هذا المكان أكثر جمالًا وروعة مما كان يتخيل، فحيثما تذهب تر أفخم الثريات، وأفخر أنواع السجاد اليدوي، وأشهى الأطعمة، وبالطبع أجمل النساء، اللاتي كان يبدو عليهن الانبهار برفيقهن الجديد في الفردوس. جرّبَ لعب الروليت، وما يثير الدهشة أن رقمه كان يظهر مرة بعد أخرى، وجرّب موائد القمار، وكان حظه حسنًا، ففاز في جولة بعد الأخرى، ولا شك أن فوزه كان يثير اهتمامًا كبيرًا لدى الموظفين اليقظين والنساء الجميلات على السواء.

استمر ذلك يومًا بعد يوم، وأسبوعًا بعد أسبوع، وظل المقامر يفوز في جميع الألعاب، ومكاسبه تتراكم أكثر فأكثر، وكان كل شيء يسير وفق رغبته، فظل يحقق المكاسب، وأسبوعًا بعد أسبوع، وشهرًا بعد شهر، استمرت سلسلة النجاحات المتتابعة للمقامر دون توقف.

بعد مدة أصبح الأمر باعثًا على الملل، وبدأ المقامر يشعر بالضجر، وبدأ الفوز يفقد معناه، إلا أن شيئًا لم يتغير، فقد ظل يفوز في جميع الألعاب، حتى حدث ذات يوم أن توجه المقامر المكروب إلى الملاك المسئول وقال إنه لم يعد يستطيع أن يتحمل أكثر من ذلك، فهو في النهاية ليس من أهل الجنة، بل هو من أهل ذلك «المكان الآخر»، وهو يود أن يكون هناك.

فأجابه الملاك: «لكن هذا هو المكان الآخر.»

هذا ما أتذكره من إحدى حلقات مسلسل Twilight Zone التي رأيتها عندما كنت طفلًا صغيرًا، لا أتذكر عنوان الحلقة، لكنني أستطيع أن أضع لها عنوان «رب أمنية جلبت منية»،[١] وكما هي العادة مع هذا المسلسل الجذاب، فإنه يصور إحدى التناقضات في الطبيعة البشرية، فنحن نحب أن نحل المشاكل، لكننا لا نحب أن تصبح كلها محلولة، ليس أسرع من اللازم على أية حال. إننا نرتبط بالمشاكل أكثر من ارتباطنا بالحلول.
لنأخذ الموت على سبيل المثال، فنحن نبذل قدرًا كبيرًا من جهدنا لتجنبه، ونبذل جهودًا غير عادية لتأجيله، وفي أحوال كثيرة نعتبر وقوعه حدثًا مأساويًّا، لكننا سنجد أن من الصعب الحيَاة بدونه، فالموت يضفي معنى على حياتنا، ويعطي الزمن أهمية وقيمة، ولو أن الموت أُجِّل إلى أجل غير مسمى، فقد تنتهي النفس البشرية إلى ما انتهى إليه المقامر في حلقة Twilight Zone.

لم نصل بعد إلى هذه الأزمة، فليس لدينا نقص حاليًّا لا في الموت ولا في المشاكل الإنسانية، ويشعر عدد من المراقبين بأن القرن العشرين ترك لنا الكثير من الأشياء الجيدة، فهناك رخاء قائم على تكنولوجيا المعلومات يزداد يومًا بعد يوم، وليس ذلك أمرًا عارضًا، لكن الجنس البشري لا يزال يواجه تحديات من قضايا ومصاعب لا تختلف تمامًا عن تلك التي انشغل بها منذ بدء تاريخه على الأرض.

سيكون القرن الحادي والعشرين مختلفًا، فسوف يستطيع الجنس البشري بمساعدة تكنولوجيا الكمبيوترات التي ابتكرها حل مشكلات قديمة قدم الدهر، مثل الفقر، وربما الرغبة، وستكون لديه القدرة على تغيير طبيعة الموت في مستقبل ما بعد الكائنات الحية. هل لدينا الطاقة النفسية لتلقي كل الأشياء الطيبة التي تنتظرنا؟ على الأرجح لا. وعلى أي حال ربما يتغير ذلك أيضًا.

قبل نهاية القرن المقبل، لن تظل الكائنات البشرية هي أكثر الكائنات ذكاء ومقدرة على كوكب الأرض، ولكن دعني أتراجع عن هذا القول، فالعبارة السابقة تعتمد على تعريفنا للبشرية. ونرى هنا اختلافًا عميقًا بين قرنين؛ فالقضية السياسية والفلسفية الأساسية للقرن المقبل هي تعريف من نحن.[٢]

لكنني أستبق الأحداث. لقد شهد القرن الماضي تغيرًا تكنولوجيًّا هائلًا صاحبته اضطرابات اجتماعية، وهو ما تنبأ به بعض العلماء عام ١٨٩٩ تقريبًا. ومعدل التغير آخذ في التصاعد، وقد حدث ذلك منذ بدء الاختراع (وهو ما سوف أتناوله في الفصل الأول، وهذا التسارع سمة أصيلة في التكنولوجيا). والنتيجة أن العقدين الأولين من القرن الحادي والعشرين سيشهدان تحولات أكثر بكثير مما شهده القرن العشرون بكامله. ومع ذلك

فإنه لإدراك المنطق الحتمي لما سوف يقودنا إليه القرن الحادي والعشرين، علينا أن نعود إلى الخلف لنبدأ من الحاضر.

## انتقال إلى القرن الحادي والعشرين

تخطت الكمبيوترات الآن الذكاء الإنساني في مجموعة متنوعة من مجالات الذكاء التي ما زالت محدودة مثل لعب الشطرنج، وتشخيص بعض الحالات الطبية، وشراء الأسهم وبيعها، وتوجيه صواريخ كروز. ويظل الذكاء الإنساني بصورة عامة أكثر طواعية ومرونة بكثير. ولا تزال الكمبيوترات عاجزة عن وصف الأشياء على مائدة مطبخ مزدحمة، أو عن كتابة ملخص فيلم، أو ربط أربطة الأحذية، أو تحديد الفوارق بين الكلب والقطة (مع أنني أعتقد أن هذه المهارة أصبحت ممكنة حاليًّا بواسطة الشبكات العصبية الحديثة، وهي النسخة الكمبيوترية من الخلايا العصبية البشرية)،[٣] أو إدراك الفكاهة، أو القيام بالمهام الأخرى الدقيقة التي يتفوق فيها مبدعها الإنساني.

أحد أسباب هذا التفاوت في القدرات هو أن أكثر كمبيوتراتنا تطورًا ما زالت أقل تعقيدًا من العقل البشري، وهي تقل عنه في الوقت الراهن بمليون مرة (أضف إلى هذا الرقم أو اطرح منه عشرة أضعاف وفقًا للافتراضات المستخدمة). لكن هذا التفاوت لن يظل على حاله مع بدايات القرن القادم. كانت سرعة الكمبيوترات تتضاعف كل ثلاث سنوات في بداية القرن العشرين، ثم كل سنتين خلال عقدي الخمسينيات والستينيات، وهي تتضاعف حاليًّا كل اثني عشر شهرًا. وسوف تستمر على هذا المنوال حتى تصل الكمبيوترات إلى سعة الذاكرة وسرعة إنجاز العمليات الحسابية لدى المخ البشري في ٢٠٢٠ تقريبًا.

ووصول الكمبيوترات إلى درجة التعقد والكفاءة المميزين للعقل البشري لن يؤدي تلقائيًّا إلى كمبيوترات تتمتع بمرونة الذكاء الإنساني، فتنظيم هذه الموارد — برامج الذكاء — ومحتوياتها مهم أيضًا. وإحدى وسائل محاكاة برنامج المخ هي الهندسة العكسية، أي مسح المخ البشري (وهو ما سيصير ممكنًا في أوائل القرن المقبل)[٤] ثم نسخ دوائره العصبية في كمبيوتر عصبي (كمبيوتر مصمم لمحاكاة عدد هائل من الخلايا العصبية البشرية) ذي سعة كافية.

هناك عدد هائل من السيناريوهات التي يمكن الاعتماد عليها للوصول إلى الذكاء البشري في الآلات، وسوف يكون بوسعنا إنشاء وتدريب نظام يجمع بين الشبكات العصبية

المتوازية وغيرها من النماذج الأخرى على فهم اللغة وتوصيف المعرفة، بما في ذلك القدرة على قراءة وفهم الوثائق المكتوبة. ومع أن قدرة الكمبيوترات الحالية على استخراج وتعلم المعرفة من وثائق اللغة البشرية محدودة تمامًا، فإن قدراتها في هذا المجال تتطور بسرعة. في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين ستكون الكمبيوترات قادرة على القراءة بنفسها، وفهم وتوصيف ما تقرؤه، وسيكون لدينا عندئذ كمبيوتراتنا التي تقرأ كل المواد المطبوعة في العالم، مثل الكتب والمجلات والدوريات العلمية وغيرها من المواد المتاحة. وأخيرًا ستجمع الآلات المعلومات بنفسها عن طريق التفاعل مع العالم المادي، والتعامل مع وسائل الإعلام وخدمات المعلومات بجميع أشكالها، وتبادل المعلومات فيما بينها (وهو أمر أيسر كثيرًا في حالة الآلات منه في حالة صناعها من البشر).

وبمجرد أن يصل الكمبيوتر إلى مستوى الذكاء البشري، فسوف يصبح باستطاعته تجاوزه، وقد فاقت الكمبيوترات منذ ظهورها القدرات العقلية البشرية في قدرتها على تذكر ومعالجة البيانات، فالكمبيوتر يستطيع أن يتذكر مليارات بل تريليونات البيانات بالكامل، في حين أننا نجد مشقة كبيرة في تذكر بضعة أرقام هواتف، كما أن الكمبيوتر يستطيع في أجزاء من الثانية أن يبحث بسرعة في قاعدة بيانات بها مليارات من المعلومات. وتستطيع الكمبيوترات بسهولة أن تتبادل قواعد المعرفة. والمزيج من الذكاء الذي يعادل الذكاء الإنساني والتفوق الطبيعي للكمبيوترات في السرعة والدقة والقدرة على تبادل المعلومات سيكون مزيجًا مخيفًا.

تعد الخلايا العصبية لدى الثدييات إبداعًا هائلًا، لكننا ما كنا لنصنعها بنفس الطريقة؛ فمعظم ما بها من تعقيد مخصص لدعم عملياتها الحيوية الخاصة، وليس لقدراتها على معالجة المعلومات، هذا إلى جانب أن الخلايا العصبية بطيئة للغاية، والدوائر الإلكترونية تفوقها في السرعة مليون مرة على الأقل. وبمجرد أن يصل الكمبيوتر إلى المستوى البشري في القدرة على إدراك المفاهيم المجردة، وتمييز الأنماط، إلى غير ذلك من خصائص الذكاء البشري، سيصير بإمكانه استعمال هذه القدرة على قاعدة معرفة تضم كل ما اكتسبه البشر والآلات من معرفة.

أحد ردود الفعل الشائعة على فرضية أن ذكاء الكمبيوترات سوف ينافس الذكاء البشري هو رفضها على أساس إمكانيات الكمبيوترات الحالية، فأنا عندما أتعامل مع كمبيوتري الخاص يبدو ذكاؤه محدودًا وهشًا، هذا إن بدا لي ذكيًا في الأصل، ومن الصعب أن أتصور أن يكون لدى الكمبيوتر الشخصي روح الدعابة، أو يكون له رأي، أو يتصف بغير ذلك من الصفات البشرية المحببة.

لكن أحدث التكنولوجيات في مجال الكمبيوتر في تطور مستمر، وتتمتع الكمبيوترات اليوم بقدرات كنا نحسبها خيالًا منذ عقد أو عقدين من الزمن، ومنها قدرة الكمبيوتر على أن يدون بدقة الكلام البشري الطبيعي المتصل، وقدرته على فهم اللغة الطبيعية المنطوقة والاستجابة بردود ذكية، وقدرته على تمييز الأنماط في الإجراءات الطبية مثل مخططات كهربية القلب واختبارات الدم بدقة تتحدى دقة الأطباء البشريين، وقدرته بالطبع على لعب الشطرنج على مستوى أبطال العالم. وفي العقد المقبل سنرى هواتف ترجمة تتيح ترجمة الحديث في الحال من لغة إلى أخرى، ومساعدين شخصيين كمبيوتريين أذكياء يستطيعون التحاور والبحث السريع وفهم قواعد المعرفة العالمية، وعددًا هائلًا من آلات أخرى ذات ذكاء يزداد اتساعًا ومرونة.

في العقد الثاني من القرن المقبل، سوف تزداد صعوبة التمييز بين قدرات الذكاء البشري وذكاء الآلات، وستتضح مميزات ذكاء الكمبيوتر من ناحية السرعة والدقة والسعة، وستزداد من ناحية أخرى صعوبة تمييز مميزات الذكاء الإنساني.

تزيد مهارات برامج الكمبيوترات كثيرًا عما يظن كثير من الناس، وعندما أعرض مثلًا آخر التطورات في قدرة الكمبيوتر على تمييز اللغة المنطوقة أو النصوص المكتوبة، فكثيرًا ما يندهش المشاهدون من مدى التقدم الذي أُحرز. وعلى سبيل المثال قد يكون آخر عهد المستخدم العادي للكمبيوتر بتقنية تمييز اللغة المنطوقة برنامج صغير محدود الإمكانيات مرفق مجانًا مع برنامج آخر، ولا يميز إلا عددًا محدودًا من مفردات اللغة، ويحتاج وقفات بين الكلمات، ويعجز عن القيام بوظيفته على النحو المطلوب. يندهش مثل هذا المستخدم عندما يفاجأ بالنظم المعاصرة التي تستطيع تمييز الكلام المتصل تمامًا، وتتعرف على ٦٠ ألف كلمة من مفردات اللغة بمستوى من الدقة يقترب من الدقة البشرية.

اعلموا أيضًا أننا لن نلاحظ التطور في ذكاء الكمبيوتر حتى يصبح واقعًا ملموسًا، وأسوق مثالًا واحدًا على ذلك، تأمل ثقة جاري كاسباروف Gary Kasparov عام ١٩٩٠ في أن الكمبيوتر لن يستطيع هزيمته أبدًا، فقد واجه أفضل الكمبيوترات، وكانت مهارتها في لعب الشطرنج — مقارنة بمهارته — يرثى لها، لكن مهارة الكمبيوتر في لعب الشطرنج شهدت تقدمًا مطردًا، وكان تصنيفه يرتفع سنويًّا بمقدار خمس وأربعين نقطة، وفي ١٩٩٧ تفوق الكمبيوتر على كاسباروف، على الأقل في الشطرنج. عقب كثيرون بقولهم إن محاكاة الأنشطة الإنسانية الأخرى أصعب بكثير من محاكاة لعب الشطرنج، وهذا حقيقي، ففي مجالات أخرى كثيرة — مثل تأليف كتاب عن الكمبيوترات الآلية — لا تزال الكمبيوترات في وضع يرثى له، لكن مع استمرار تزايد قدرات الكمبيوترات بمعدل أسي،

فإن ما حدث لكاسباروف في الشطرنج سوف يحدث لنا في تلك المجالات الأخرى. وخلال العقود القادمة سوف تنافس كفاءة الآلات كل المهارات البشرية المعروفة وتتفوق عليها، بما في ذلك قدرتنا المبهرة على وضع أفكارنا في مجموعة متنوعة من السياقات.

يُنظر إلى التطور على أنه مسلسل استمر مليار سنة، وكان أعظم إبداعاته: الذكاء البشري، وسيكون ظهور نوع جديد من الذكاء على الأرض في بداية القرن الحادي والعشرين قادرٌ على أن ينافس الذكاء البشري ويسبقه في النهاية بشوط كبير تطورًا أعظم أهمية من أي حدث من الأحداث التي شكلت التاريخ البشري، ولن تقل أهميته عن أهمية خلق الذكاء الذي أبدعه، وستكون له آثار عميقة على كل جوانب الأنشطة الإنسانية، بما في ذلك طبيعة العمل، والتعلم، والحكومة، والحرب، والفنون ومفهومنا عن أنفسنا.

هذا الشبح لم يظهر بعد. ولكن مع ظهور كمبيوترات تنافس المخ البشري منافسة حقيقية وتفوقه في التعقيد، ستظهر قدرة الآلات على فهم الأفكار المجردة والتفاصيل الدقيقة. ويبدو أن السبب في التعقيد الذي تبدو عليه الكائنات البشرية يرجع جزئيًّا إلى تضارب أهدافنا الداخلية، فالقيم والمشاعر تمثل أهدافًا كثيرًا ما تتعارض بعضها مع بعض، ويعد هذا نتيجة حتمية لمستويات التجريد التي نتعامل معها ككائنات بشرية. وعندما تصل الكمبيوترات إلى مستوى مماثل من التعقيد ـــ ثم تتجاوزه، وعندما يزداد الاعتماد في تكوينها ـــ على الأقل جزئيًّا ـــ على نماذج من الذكاء الإنساني، فسوف يكون لها هي أيضًا بالضرورة أهداف ذات قيم ومشاعر ضمنية، مع أنها لن تكون بالضرورة نفس القيم والمشاعر الموجودة لدى البشر.

سوف تظهر مجموعة من القضايا الفلسفية: هل تفكر الكمبيوترات؟ أم أنها تجري حسابات فقط؟ والعكس بالعكس، هل تفكر الكائنات البشرية؟ أم أنها تجري حسابات فقط؟ من المفترض أن المخ البشري يتبع قوانين الفيزياء، لذلك لا بد أنه آلة، غير أنه آلة بالغة التعقيد. هل هناك اختلاف جوهري بين التفكير الإنساني وتفكير الآلة؟ لنطرح السؤال بطريقة مختلفة: عندما تماثل الكمبيوترات المخ البشري من حيث التعقيد، وتتساوى معه في دقة وتعقد التفكير، فهل نعتبرها واعية؟ هذا سؤال صعب حتى في طرحه، ويراه بعض الفلاسفة سؤالًا بلا معنى، في حين يعتقد آخرون أنه السؤال الوحيد الذي له معنى في الفلسفة، والواقع أن هذا السؤال يعود إلى زمن أفلاطون، لكن مع ظهور الآلات التي يبدو أن لديها إرادة ومشاعر حقيقية، سوف تصبح القضية ملحة أكثر فأكثر.

على سبيل المثال، لو أن شخصًا أجرى مسحًا لمخه باستخدام تكنولوجيا القرن الحادي والعشرين غير الجراحية (مثل نوع متطور من التصوير بالرنين المغناطيسي)،

ونسخ محتويات عقله على كمبيوتره الشخصي، فهل يصبح «الشخص» الذي ظهر في الآلة هو نفس الشخص الذي نسخ عقله؟ قد يستعطفك على نحو مقنع قائلًا إنه شب في بروكلين، والتحق بكلية في ماساتشوستس، ومر بعملية مسح ثم أفاق في آلة هنا. ومن جانب آخر فإن الشخص الأصلي الذي جرى مسحه سيقر بأن الشخص الذي في الآلة يبدو أنه يشاركه بالفعل في تاريخ حياته، ومعرفته، وذاكرته، وهويته الشخصية، لكنه محتال وهو شخص مختلف.

حتى لو قصرنا حديثنا على الكمبيوترات التي لم تستنسخ مباشرة من مخ بشري معين، فسنرى أنها تمتلك شيئًا فشيئًا شخصيات مستقلة، وردود فعل لا نستطيع أن نصفها إلا بأنها مشاعر ونبين أهدافها وأغراضها. وسوف تبدو كما لو أن لديها إرادة حرة، وتزعم أن لديها خبرات روحية، وسوف يصدقها الناس، أولئك الذين تتكون خلاياهم العصبية من الكربون كعنصر أساسي.

وكثيرًا ما نقرأ نبوءات لعدة عقود قادمة تبحث مجموعة من النزعات الديموغرافية، والاقتصادية، والسياسية التي تتجاهل إلى حد بعيد التأثير الثوري للآلات وآراءها وأجنداتها الخاصة. لكننا بحاجة إلى التفكير في الظهور التدريجي — الذي لا مفر منه — لمنافس حقيقي للفكر الإنساني في جميع المجالات، وذلك لفهم العالم القادم.

# الجزء الأول

## سبر الماضي

الفصل الأول

# قانون الزمن والشواش

## تاريخ (مختصر جدًّا) للكون: الزمن يتباطأ

> الكون يتألف من حكايات وليس ذرات.
>
> موريل روكايزر Muriel Rukeyser

> هل الكون آلية عظيمة، أم حسبة عظيمة، أم تناسق عظيم، أم حدث عظيم، أم فكرة عظيمة؟
>
> جون دي. بارو John D. Barrow

عندما ننطلق من البداية، نلاحظ خاصية غريبة لطبيعة الزمن؛ خاصية أساسية في عبورنا إلى القرن الحادي والعشرين. تبدأ قصتنا منذ ١٥ مليار سنة، لم تكن هناك حياة واعية تدرك قيمة ميلاد كوننا في ذلك الوقت، لكننا نعرف قيمته الآن، وقد حدث ذلك بأثر رجعي، (بالنظر إلى الماضي — من أحد منظورات ميكانيكا الكم — يمكننا القول بأن الأكوان التي فشلت في تطوير حياة واعية تدرك وجودها لم توجد في الأساس).

لم تبرد حرارة الكون إلا بعد $١٠^{-٤٣}$ (جزء من عشرة من مليون تريليون تريليون تريليون ثانية) من ميلاده[١] بما يكفي (إلى ١٠٠ مليون تريليون تريليون درجة) لظهور قوة واضحة هي الجاذبية.

ولم يحدث شيء يذكر في الثواني الـ $١٠^{-٣٤}$ التالية (هذا أيضًا جزء بالغ الصغر من الثانية، لكنه أطول مليار مرة من $١٠^{-٤٣}$)، وعندئذ سمحت حرارة الكون الذي ازداد برودة

(في ذلك الحين كانت درجة الحرارة مليار مليار مليار درجة فقط) بظهور المادة على هيئة إلكترونات وكواركات، ومن أجل المحافظة على التوازن ظهرت أيضًا المادة المضادة. كان زمنًا زاخرًا بالأحداث، إذ سرعان ما نشأت قوى جديدة، فكان لدينا حينئذ ثلاث قوى: الجاذبية، القوة النووية الشديدة،[٢] والقوة الكهروضعيفة.[٣]

بعد ١٠^-١٠ ثانية أخرى (جزء من عشرة من مليار ثانية)، انقسمت القوة الكهروضعيفة إلى القوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة[٤] التي نعرفها الآن جيدًا.

تعقدت الأمور بعد ١٠^-٥ ثانية مرة أخرى (عشرة من مليون من الثانية). ومع هبوط درجة حرارة الآن إلى تريليون درجة معتدلة نسبيًّا، تتجمع الكواركات لتكوين بروتونات ونيوترونات. وتفعل مضادات الكواركات نفس الشيء بتكوين مضادات البروتونات.

بطريقة ما تصل جسيمات المادة إلى نقطة تحول ضئيل. والكيفية التي حدث بها ذلك غير واضحة تمامًا، وحتى ذلك الوقت كان كل شيء يبدو متسقًا تمامًا، ولكن لو أن كل شيء ظل متوازنًا بصورة متعادلة، لأصبح الكون على الأرجح مثيرًا للضجر، وما كانت الحياة لتنشأ أبدًا، وبذلك نستطيع أن نستنتج أن الكون لم يكن ليوجد بادئ ذي بدء.

في مقابل كل ١٠ مليارات مضاد بروتون، يحتوى الكون على ١٠ مليارات وواحد بروتون، وقد تصادمت البروتونات ومضادات البروتونات محدثة ظاهرة أخرى مهمة: الضوء (الفوتونات)، وهكذا فنيت المادة المضادة نهائيًّا تقريبًا، لتصبح المادة هي السائدة، (يوضح لك ذلك خطر السماح لمنافس بالتفوق ولو بنسبة ضئيلة).

وبالطبع لو كان الفوز من نصيب المادة المضادة، لأطلقت عليها سلالتها اسم المادة، ولأطلقت على المادة اسم المادة المضادة، ولعدنا إلى نقطة البداية (ربما يكون هذا ما حدث).

بعد ثانية أخرى (الثانية زمن طويل جدًّا مقارنة ببعض الفصول المبكرة في قصة الكون، فلاحظ كيف تزداد الفترات الزمنية طولًا بمعدل أسي) حذت الإلكترونات ومضادات الإلكترونات (التي يطلق عليها بوزيترونات) حذو البروتونات ومضادات البروتونات وأبادت بعضها بعضًا، تاركة في الأغلب الإلكترونات.

بعد دقيقة أخرى بدأت النيوترونات والبروتونات في الاندماج في نوى أثقل، مثل الهليوم والليثيوم والأنواع الثقيلة من الهيدروجين، وكانت درجة الحرارة حينئذ مليار درجة فقط.

بعد ٣٠٠ ألف سنة (الأمور الآن تتباطأ بسرعة)، وبعد أن أصبح متوسط درجة حرارة ٣٠٠٠ درجة فقط، وُجدت الذرات الأولى عندما سيطرت النوى على الإلكترونات القريبة منها.

بعد مليار سنة كوّنت هذه الذرات سحبًا ضخمة تحركت تدريجيًا في دوامة مكونة المجرات.

بعد ملياري سنة أخرى ازداد اندماج المادة داخل المجرات لتتكون نجوم منفصلة، وكان للكثير منها مجموعاتها الشمسية.

بعد ذلك بثلاثة مليارات سنة، ولد كوكب عادي يدور حول نجم عادي يقع في ذراع مجرة عادية، وهو ما نسميه كوكب الأرض.

والآن قبل أن نتقدم أكثر، دعنا نشر إلى سمة تسترعي الانتباه في مرور الزمن، فقد تحركت الأحداث بسرعة في بداية عمر الكون، فكان لدينا ثلاثة تحولات كبرى في أول جزء من مليار من الثانية فقط، وبعد ذلك استغرقت الأحداث ذات الأهمية الكونية مليارات السنوات، وطبيعة الزمن أنه يتحرك بطريقة أسية، إما بتزايد سرعته بمعدل هندسي أو ــ كما هو الأمر في تاريخ كوننا ــ بتباطؤ سرعته بمعدل هندسي، وتبدو حركة الزمن خطية فقط خلال تلك الحقب التي لا يحدث فيها تغير كبير، وهكذا فإنه في معظم الأحيان يعد المرور الخطي للزمن تقديرًا تقريبيًا مقبولًا لمروره الفعلي، لكن هذه ليست طبيعة الزمن.

ما أهمية هذا الأمر؟ لا أهمية له إذا كنا نمر بحقب خالية من الأحداث، لكنه بالغ الأهمية عندما تجد نفسك في «نقطة انقلاب المنحنى»؛ تلك الفترات التي تتفجر فيها الطبيعة الأسية لمنحنى الزمن إما نحو الداخل أو نحو الخارج. يشبه الأمر السقوط في ثقب أسود (في هذه الحالة يزداد تسارع الزمن أسيًا كلما توغل المرء نحو الداخل).

## سرعة الزمن

لكن تمهل لحظة، كيف نستطيع القول بأن الزمن يغير «سرعته»؟ نستطيع أن نتحدث عن معدل عملية ما من حيث سرعة تقدمها في الثانية، لكن هل يمكننا القول بأن الزمن يغير معدله؟ هل يمكن أن يتحرك الزمن بسرعة ثانيتين في الثانية على سبيل المثال؟

هذا بالضبط ما قاله أينشتاين؛ فالزمن نسبي بالنسبة إلى الكائنات التي تعايش أحداثه،[5] فقد تكون ثانية لدى رجل أربعين سنة لدى امرأة. ويضرب أينشتاين مثالًا لرجل يسافر بسرعة تقترب جدًا من سرعة الضوء إلى أحد النجوم الذي يقع مثلًا على بعد عشرين سنة ضوئية. من منظورنا الأرضي، تستغرق الرحلة ما يزيد قليلًا عن عشرين سنة في رحلتي الذهاب والعودة كل على حدة، وعندما يعود الرجل، تكون زوجته قد تقدم بها

العمر أربعين عامًا، غير أنه يشعر بأن الرحلة بالنسبة إليه كانت وجيزة، فلو أنه يسافر بسرعة تقترب من سرعة الضوء، فقد لا تستغرق الرحلة إلا ثانية أو أقل (من منظور عملي سيكون علينا أن نضع في اعتبارنا بعض القيود، مثل زمن التسارع والتباطؤ دون أن ينسحق جسده)، فأي الزمنين صحيح؟ يقول أينشتاين إن كليهما صحيح، وإن وجودهما نسبي فقط.

لا تعيش بعض أنواع الطيور إلا بضع سنوات فقط، وإذا راقبت حركاتها السريعة، فسيبدو لك أنها تشعر بمرور الزمن بمقياس مختلف، ونحن نمر بمثل ذلك في حياتنا، فسرعة تغير الطفل الصغير وشعوره بالزمن يختلفان عنهما لدى الشخص البالغ، ويسترعي انتباهنا على وجه الخصوص أن تسارع مرور الزمن في التطور يتحرك في اتجاه مختلف عن اتجاه الكون الذي نشأ عنه التطور.

إن من طبيعة النمو الأسي أن الأحداث تتطور ببطء شديد وتستغرق فترات زمنية بالغة الطول، لكن عندما نعبر نقطة انقلاب المنحنى، تندفع الأحداث بسرعة هائلة، وهذا ما سوف نشعر به عندما نلج إلى القرن الحادي والعشرين.

## التطور: تسارع الزمن

> في البدء كان الكلمة ... والكلمة صار جسدًا.
>
> يوحنا ١: ١، ١٤

> جزء كبير من الكون لا يحتاج إلى أي تفسير؛ الأفيال على سبيل المثال. بمجرد أن تتعلم الجزيئات التنافس وتكوين جزيئات أخرى على صورتها، فسوف يأتي زمن نجد فيه الأفيال والكائنات المشابهة للأفيال تجوب المناطق الريفية.
>
> بيتر أتكينز Peter Atkins

> كلما نظرت أبعد إلى الخلف، استطعت أن ترى أبعد إلى الأمام.
>
> ونستون تشرتشل Winston Churchill

سنعود إلى نقطة انقلاب المنحنى، لكن لنتعمق أكثر في الطبيعة الأسية للزمن. وضعت في القرن التاسع عشر مجموعة من المبادئ الموحدة أُطلق عليها قوانين الديناميكا الحرارية،[٦] وكما يتضح من الاسم فهي تتناول الطبيعة الديناميكية للحرارة، وكانت هذه القوانين أول تطوير رئيسي لقوانين الميكانيكا الكلاسيكية التي أحكمها إسحاق نيوتن Isaac Newton قبل ذلك بقرن، وفي حين أن نيوتن كان يصف عالمًا بإتقان آلية الساعة تخضع فيه الجسيمات والأجسام المادية بكل الأحجام لأنماط شديدة الانضباط نستطيع التنبؤ بها، فإن قانوني الديناميكا الحرارية يصفان عالمًا يتسم بالتشوش chaos، وهذه بالفعل هي طبيعة الحرارة، فالحرارة هي الحركة العشوائية التي لا يمكن التنبؤ بها للجسيمات التي يتألف منها العالم، وإحدى النتائج المباشرة للقانون الثاني للديناميكا الحرارية أنه في نظام مغلق (كيانات وقوى تتفاعل دون أن تتعرض لتأثير خارجي، مثل الكون على سبيل المثال) تزداد الفوضى disorder (ويطلق عليها اسم «الإنتروبيا»)، وهكذا فإن نظامًا مثل عالمنا إذا تُرك وشأنه فإنه يصبح أكثر تشوشًا. يرى كثير من الناس أن ذلك يصف حياتهم وصفًا جيدًا. لكن في القرن التاسع عشر اعتبرت قوانين الديناميكا الحرارية اكتشافًا مزعجًا، وفي بداية القرن كانت المبادئ الأساسية التي تحكم العالم تبدو مفهومة وخاضعة لنظام، وكانت تنقصها بضعة تفاصيل، لكن الصورة الرئيسية كانت تحت السيطرة، وكانت الديناميكا الحرارية هي أول تناقض مع هذه الصورة المُرضية، ولن تكون التناقض الأخير.

قد يبدو أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية — والذي يُطلق عليه أحيانًا قانون زيادة الإنتروبيا — يقتضي ضمنًا أن الظهور التلقائي للحياة الذكية مستحيل، فالسلوك الذكي هو نقيض السلوك العشوائي، ويحتاج أي نظام قادر على الاستجابات الذكية لبيئته إلى أن يكون بالغ التنظيم. تتألف كيمياء الحياة — ولاسيما كيمياء الحياة العاقلة — من تصميمات معقدة للغاية، ومن الحركة الدوامية شديدة العشوائية للجسيمات والطاقة في العالم، ظهرت بطريقة ما تصميمات رائعة. كيف نوفّق بين ظهور الحياة العاقلة وقانون زيادة الإنتروبيا؟

هناك إجابتان لهذا السؤال؛ الأولى: في الوقت الذي يبدو فيه أن قانون زيادة الإنتروبيا يتناقض مع جوهر التطور الذي يسير في اتجاه نظام محكم، فليس هناك تناقض بين طبيعتي الظاهرتين، إذ إن نظام الحياة يقوم وسط تشوش كبير، ولا يؤثر وجود أشكال الحياة بصورة ملحوظة على مستوى الإنتروبيا في النظام الأكبر الذي نشأت فيه الحياة، ولا يعتبر الكائن الحي نظامًا مغلقًا، فهو جزء من نظام أكبر نطلق عليه البيئة، التي تظل

عالية من حيث مستوى الإنتروبيا، وبمعنى آخر فإن النظام الذي يمثله وجود أشكال الحياة لا قيمة له بالنسبة إلى المستوى الكلي للإنتروبيا.

ومن ثم، ففي حين يزيد الشواش في الكون، فمن الممكن لعمليات التطور التي تخلق نماذج شديدة التعقيد والتنظيم أن توجد في الوقت نفسه،[٧] فالتطور عملية، لكنه ليس نظامًا مغلقًا، وهو خاضع للتأثير الخارجي، بل إنه يستغل التشوش المحيط به، لذلك فإن قانون زيادة الإنتروبيا لا يتعارض مع ظهور الحياة والذكاء.

وقبل أن نذكر الإجابة الثانية، نحتاج إلى إلقاء نظرة عن كثب على التطور، فهو المبتكر الأصلي للحياة العاقلة.

## التسارع الأسي لمعدل التطور

تكون كوكب الأرض ــ كما تعلم ــ بعد مليارات السنوات، وبفعل طاقة الشمس تكوّنت من العناصر جزيئات أكثر وأكثر تعقيدًا، ومن الفيزياء وُلدت الكيمياء.

وبعد ملياري عام بدأت الحياة، أي أن «أشكال المادة والطاقة القادرة على البقاء والاستمرار استطاعت البقاء والاستمرار»، والغريب أن أحدًا لم ينتبه لهذه الحقيقة المنطقية إلا منذ قرنين.

وبمرور الزمن أصبحت الأشكال أكثر تعقيدًا من مجرد سلاسل من الجزيئات، وانتظمت مجموعات الجزيئات التي تشترك في وظائف معينة على هيئة تجمعات صغيرة من الجزيئات، ومن الكيمياء وُلد علم الأحياء.

هكذا ظهر أول الكائنات الأرضية: أوليات النواة اللاهوائية (كائنات وحيدة الخلية لا تحتاج إلى الأكسجين) لها وسائل بدائية للمحافظة على بقاء تصميمها الخاص، وتضمنت الابتكارات الأولى التي جاءت بعد ذلك نظامًا وراثيًّا بسيطًا، والقدرة على السباحة، والتمثيل الضوئي الذي مهد لظهور كائنات متقدمة تتنفس الأكسجين، وكان التطور الأكثر أهمية في الملياري عام التاليين هو الوراثة القائمة على الحمض النووي DNA، وهي التي ستوجه وتسجل من الآن فصاعدًا تقدم عملية التطور.

واحد من المتطلبات الأساسية لأي عملية تطورية هو سجل «مكتوب» للإنجازات، وإلا فإن هذه العملية ستظل تكرر البحث عن حلول لمشكلات جرى حلها بالفعل، وفي الكائنات الحية الأولى كان السجل مكتوبًا (مجسدًا) في أجسامها؛ مشفرًا مباشرة في التركيب الكيميائي لعضياتها الخلوية البدائية، ومع ابتكار الوراثة القائمة على الدي إن إيه، صمم التطور كمبيوترًا رقميًّا لتسجيل إنجازاته، وأتاح هذا التصميم الفرصة لتجارب أكثر

تعقيدًا، وانتظمت مجموعات الجزيئات التي أُطلق عليها اسم الخلايا على هيئة مجموعات من الخلايا مع ظهور أول النباتات والحيوانات عديدة الخلايا منذ نحو ٧٠٠ مليون سنة، وخلال المائة وثلاثين مليون سنة التالية وُضعت التصميمات الأساسية لأجسام الحيوانات الحديثة، بما في ذلك الهيكل القائم على الحبل الشوكي الذي أتاح للأنواع الأولى من الأسماك أسلوب سباحة فعَّال.

وهكذا بينما استغرق التطور مليارات السنوات لتصميم أولى الخلايا البدائية، بدأت تقع الأحداث البارزة في مئات الملايين من السنوات، وهو تسارع واضح في معدل التغير.[٨] وعندما قضت كارثة ما على الديناصورات منذ ٦٥ مليون سنة، ورثت الثدييات الأرض (مع أن الحشرات قد تعترض على ذلك).[٩] ومع ظهور الرئيسيات، أصبح التقدم يقاس بعشرات الملايين من السنوات فقط.[١٠] وظهرت أشباه الإنسان منذ ١٥ مليون سنة، وتميزت بالسير على أرجلها الخلفية، وها هو معدل التطور يصل إلى ملايين السنوات.[١١]

مع كبر حجم المخ — لاسيما في منطقة قشرة المخ كثيرة التلافيف والمسئولة عن التفكير المنطقي — ظهر نوعنا؛ الإنسان العاقل *Homo sapiens*، ربما منذ ٥٠٠ ألف سنة. ولا يختلف الإنسان كثيرًا عن غيره من الرئيسيات الراقية فيما يتعلق بميراثها الجيني، و٩٨,٦ بالمائة من دي إن إيه الإنسان المعاصر هو نفسه لدى غوريلا الأرض المنخفضة، و٩٧,٨ بالمائة لدى إنسان الغابة.[١٢] وقصة التطور منذ ذلك الحين حتى الآن تركز على نوع من التطور يسيطر عليه الإنسان؛ ألا وهو التكنولوجيا.

## التكنولوجيا: التطور بوسائل أخرى

> عندما يقول عالِم إن شيئًا ما ممكن، فأغلب الظن أنه صادق، وعندما يقول إن شيئًا ما مستحيل، فهو مخطئ على الأرجح.
>
> السبيل الوحيد لاكتشاف حدود الممكن هو أن تتجاوز هذه الحدود قليلًا نحو المستحيل.
>
> إن أية تكنولوجيا متطورة بما يكفي لا يمكن تمييزها عن السحر.
>
> قوانين آرثر سي. كلارك Arther C. Clarke الثلاثة للتكنولوجيا

> الآلة عندما تكون على درجة من التميز والروعة والقدرة البشرية على التعبير مثلها مثل سوناتا كمان أو فرضية لأُقليدس Euclid.
>
> جريجوري فلاستوس Gregory Vlastos

تتطور التكنولوجيا مع سرعة التطور التي تتزايد بمعدل أسي، ومع أن الإنسان العاقل ليس الحيوان الوحيد الذي يستخدم الأدوات، فهو يتميز بابتكاره للتكنولوجيا،[١٢] وتتجاوز التكنولوجيا مجرد صناعة الأدوات واستخدامها، فهي تتضمن سجلًا لصنع الأدوات وتطورًا في تعقيدها، وتتطلب إبداعًا، وهي في ذاتها استمرار للتطور بوسائل أخرى. و«الشفرة الوراثية» لعملية تطور التكنولوجيا هي السجل الذي حافظ عليه الجنس البشري صانع الأدوات، ومثلما كانت الشفرة الوراثية لأشكال الحياة المبكرة هي ببساطة التركيب الكيميائي للكائنات نفسها، فإن السجل المكتوب للأدوات المبكرة هو الأدوات نفسُها، وفيما بعد تطورت «جينات» التطور التكنولوجي إلى سجلات باستخدام اللغة المكتوبة، وكثيرًا ما يجري تخزينها حاليًّا في قواعد بيانات. وفي النهاية سوف تخلق التكنولوجيا نفسها تكنولوجيا جديدة، لكننا نستبق بذلك الأحداث.

تستغرق أحداث قصتنا الآن عشرات الآلاف من السنوات. كان هناك العديد من تحت الأنواع للإنسان العاقل، فقد ظهر إنسان نياندرتال *Homo sapiens neanderthalensis* منذ نحو ١٠٠ ألف سنة في أوروبا والشرق الأوسط ثم اختفى بصورة غامضة منذ نحو ٣٥ إلى ٤٠ ألف سنة. ورغم صورتهم الوحشية، فإن النياندرتاليين أنشأوا ثقافة معقدة تضمنت شعائر جنائزية معقدة مثل دفن الحلي والأزهار مع موتاهم. لسنا متأكدين تمامًا مما حدث لأبناء عمومتنا من سلالة إنسان نياندرتال، لكنهم فيما يبدو دخلوا في صراعات مع أسلافنا المباشرين من سلالة *Homo sapiens sapiens* الذي ظهر منذ نحو ٩٠ ألف سنة. بدأت كثير من الأنواع وتحت الأنواع الشبيهة بالبشر في ابتكار التكنولوجيا، ولم يبق إلا أكثر هذه الأنواع الفرعية ذكاء وعدوانية، وقد رسخ هذا نموذجًا سيعيد نفسه في التاريخ البشري، وهو أن الجماعات الأكثر تطورًا من الناحية التكنولوجية هي التي تفوز بالسيطرة، وهو أمر لا يبشر بخير في المستقبل، فالآلات الذكية سوف تتفوق علينا في القرن الحادي والعشرين من حيث الذكاء والتعقيد التكنولوجي.

هكذا لم يبق إلا تحت النوع *Homo sapiens sapiens* وحده من بين بقية الأنواع البشرية منذ نحو ٤٠ ألف سنة.

وكان أجدادنا قد ورثوا بالفعل من الأنواع وتحت الأنواع البشرية السابقة ابتكارات مثل تسجيل الأحداث على جدران الكهوف، وفن التصوير، والموسيقى، والرقص، والدين، واللغة المتطورة، والنار، والأسلحة. ولعشرات الآلاف من السنوات، كان البشر يشكلون الأدوات بشحذ جانب واحد من الحجارة، واستغرق نوعنا عشرات الآلاف من السنوات لاكتشاف أنه بشحذ الجانبين معًا يوفر الطرف الحاد الناتج أداة أكثر نفعًا بكثير، ومع

ذلك فإن أحد الجوانب المهمة هو أن هذه الابتكارات ظهرت وظلت موجودة، ولم تظهر هذه القدرة لدى أي حيوان مستخدم للأدوات على وجه الأرض؛ القدرة على ابتكار الأدوات والمحافظة عليها.

والجانب الآخر المهم أن هذه التكنولوجيا عملية متسارعة بطبيعتها، شأنها شأن تطور أشكال الحياة الذي أوجدها، واستغرقت أساسات التكنولوجيا — مثل صنع حافة حادة من الحجر — حقبًا حتى تصل إلى حد الكمال، مع أنه بالنسبة للتكنولوجيا التي أبدعها الإنسان تعني الحقب آلاف السنوات بدلًا من مليارات السنوات التي استغرقها تطور أشكال الحياة لكي يبدأ.

ومثل تطور أشكال الحياة، تسارع معدل تطور التكنولوجيا إلى حد بعيد مع مرور الزمن،[١٤] فالتقدم التكنولوجي في القرن التاسع عشر على سبيل المثال فاق إلى حد بعيد التقدم الذي أحرز في القرون المبكرة، مع إنشاء القنوات والسفن الهائلة، وظهور الطرق المرصوفة، وانتشار السكك الحديدية، واختراع البرق، والتصوير الفوتوغرافي، والدراجة الهوائية، وماكينة الخياطة، والآلة الكاتبة، والهاتف، والفونوغراف، والأفلام السينمائية، والسيارة، وبالطبع مصباح توماس إديسون الكهربائي. ويماثل التطور الأسي المستمر للتكنولوجيا في العقدين الأولين من القرن العشرين التطور الذي حدث في القرن التاسع عشر بأكمله. والآن تحدث لدينا تغيرات أكبر في زمن لا يتجاوز بضع سنوات. وكأحد الأمثلة الكثيرة، لم يكن التطور الأخير في الاتصالات — بظهور الشبكة العنكبوتية العالمية World Wide Web — موجودًا منذ بضع سنوات.

### ما هي التكنولوجيا؟

حيث إن التكنولوجيا هي استمرار التطور بوسائل أخرى، فهي أيضًا تشترك في ظاهرة السرعة الأسية، والكلمة مشتقة من الكلمة اليونانية tekhn التي تعني «حرفة» أو «فن»، وكلمة logia التي تعني «دراسة ...»، لذلك فأحد معاني التكنولوجيا هو دراسة التشكيل، ويشير التشكيل هنا إلى تشكيل الموارد لهدف معين. وأنا أستخدم كلمة موارد بدلًا من كلمة مواد لأن التكنولوجيا تمتد إلى تشكيل موارد غير مادية مثل المعلومات.

وكثيرًا ما تُعرَّف التكنولوجيا على أنها ابتكار الأدوات للسيطرة على البيئة، لكن هذا التعريف ليس وافيًا تمامًا، فالبشر لا ينفردون باستخدام الأدوات أو حتى ابتكارها، فحيوان إنسان الغاب الذي يعيش في سومطره في مستنقع سواك باليمبينج Suaq Balimbing يصنع أدوات من الفروع الطويلة لفتح فجوة في أعشاش النمل الأبيض، وتصنع الغربان أدوات من فروع وأوراق النباتات، وتمزج النملة القاطعة للأوراق الأوراق الجافة بلعابها لصنع عجينة، وتستخدم التماسيح جذور الشجر لتثبيت الفريسة الميتة.[١٥]

الشيء الوحيد الذي ينفرد به البشر فقط هو تطبيق المعرفة ــ المعرفة المسجلة ــ في صنع الأدوات، وتمثل قاعدة المعرفة الشفرة الوراثية للتكنولوجيا الناشئة، ومع تطور التكنولوجيا تطورت أيضًا وسائل تسجيل قاعدة المعرفة هذه، من الوسائل الشفهية في العصور القديمة إلى سجلات التصميم المكتوبة للحرفيين في القرن التاسع عشر إلى قواعد بيانات التصميم بمساعدة الكمبيوتر في العقد الأخير من القرن العشرين.

تتضمن التكنولوجيا أيضًا تفوق المواد التي تتألف منها، وعندما يجري تجميع عناصر ابتكار ما بالطريقة المثلى، فإنها تحدث أثرًا رائعًا يتجاوز مجرد مجموع الأجزاء. عندما قام ألكساندر جراهام بيل Alexander Graham Bell دون قصد بتوصيل طبلتين متحركتين مع ملفات لولبية (قلوب معدنية مغلفة بالأسلاك) عام ١٨٧٥ تجاوزت النتيجة المواد الذي كان يعمل بها، فللمرة الأولى انتقل صوت بشري إلى مكان بعيد على نحو أشبه بالسحر، ومعظم التجميعات هي مجرد تجميعات عشوائية، ولكن عندما يتم جمع المواد ــ أو المعلومات في حالة التكنولوجيا الحديثة ــ بالطريقة المثلى، يحدث التفوق، ويصبح الشيء الذي جرى تجميعه أعظم بكثير من مجموع أجزائه. تحدث الظاهرة نفسها في الفن، الذي قد يعد شكلًا آخر من أشكال التكنولوجيا البشرية، فعندما يجرى تجميع الخشب والطلاء والأوتار بالطريقة المثلى، تكون النتيجة رائعة: كمان أو بيانو، وعندما يُستخدم جهاز كهذا بالطريقة المثلى، يكون هناك سحر من نوع آخر: الموسيقى، فالموسيقى تتجاوز كونها مجرد أصوات، فهي تحدث آثارًا ــ إدراكية وعاطفية وربما روحية ــ لدى المستمع، وهي صورة أخرى من صور التفوق. وتشترك كل الفنون في الهدف نفسه: نقل أفكار الفنان إلى

المستمعين؛ ليس نقل بيانات بسيطة، بل نقل الأشياء الأكثر أهمية في الحديقة الفينومينولوجية: المشاعر والأفكار والتجارب والأمنيات، ويتضمن المعنى اليوناني لـ tekhn' logia الفن كمظهر من المظاهر الأساسية للتكنولوجيا.

واللغة صورة أخرى من صور التكنولوجيا التي صنعها البشر، فأحد التطبيقات الأساسية للتكنولوجيا هو الاتصال، وتعد اللغة أساس الاتصال بين البشر، والاتصال مهارة أساسية من مهارات البقاء، فقد سمح للعائلات والقبائل البشرية بابتكار استراتيجيات تعاون للتغلب على العقبات والخصوم. والحيوانات الأخرى تتواصل، فالقردة والنسانيس تستخدم إشارات معقدة وأصواتًا حلقية عميقة لتوصيل مجموعة متنوعة من الرسائل، ويؤدي النحل رقصات معقدة على شكل الرقم ثمانية ٨ لتوصيل معلومات عن مخابئ الرحيق، وتؤدي أنثى ضفدع الشجر في ماليزيا رقصات إيقاعية لتشير إلى استعدادها للتزاوج، وتهز سرطانات البحر مخالبها بطريقة محددة لتحذر الأعداء، لكنها تستخدم إيقاعًا مختلفًا للمغازلة.[١٦] لكن يبدو أن هذه الطرق لا تتطور إلا من خلال التطور القائم عادة على الدي إن إيه، وهذه الأنواع تفتقر إلى طريقة لتسجيل وسائل اتصالاتها، لذلك تظل هذه الوسائل ثابتة من جيل إلى آخر، وفي المقابل فإن اللغة البشرية تتطور، كما هو الحال بالنسبة لكل أشكال التكنولوجيا، ومع تطور أشكال اللغة ذاتها، وفرت التكنولوجيا وسائل متطورة للغاية لتسجيل ونشر اللغة البشرية.

ينفرد الإنسان العاقل باستخدام وتشجيع كل ما أراه صورة من صور التكنولوجيا: الفن واللغة والآلات، وكلها تعبر عن التطور بوسائل أخرى. ما بين عقدي الستينيات والتسعينيات من القرن العشرين قيل إن العديد من الرئيسيات الشهيرة قد تعلمت على الأقل ما يشبه مهارات اللغة لدى الأطفال، فقد كان حيوانا الشيمبانزي لانا Lana وكانزي Kanzi يضغطان على أزرار متتالية عليها رموز، وقيل أن حيوانا الغوريلا واشو Washoe وكوكو Koko يستخدمان لغة الإشارة الأمريكية، وقد شكك كثير من علماء اللغة في ذلك، وأشاروا إلى أن الكثير من «جُمل» الرئيسيات كانت غير مترابطة، مثل: «نيم يأكل، نيم يأكل، نيم يشربني ويأكلني، يمضغني يمضغني، يداعبني، نيم يلعب، أنت أعطني موز أعطني موز أنت.» حتى لو نظرنا إلى هذه الظاهرة على نحو أكثر انفتاحًا

فسنعتبرها الاستثناء الذي يؤكد القاعدة، فهذه الرئيسيات لم تبتكر اللغات التي ينسب إليها استخدامها، ولا يبدو أن هذه المهارات تظهر لديها تلقائيًّا، فضلًا عن أن استخدامها لهذه المهارات محدود جدًّا،[١٧] فهي في أفضل الأحوال تشارك مشاركة سطحية فيما لا يزال اختراعًا بشريًّا مقصورًا على البشر، وهو الاتصال باستخدام الوسيلة التكرارية الرمزية المتطورة التي المسماة اللغة.

## حتمية التكنولوجيا

بمجرد أن تظهر الحياة على الكوكب، يمكننا اعتبار ظهور التكنولوجيا أمرًا حتميًّا، فمن الواضح أن قدرة الإنسان على تجاوز حدود قدراته الجسمانية — ناهيك عن القدرات العقلية — عن طريق التكنولوجيا أمر يعينه على البقاء، فقد سمحت التكنولوجيا لنوعنا بالسيطرة على بيئته المناسبة. وتتطلب التكنولوجيا أن يمتلك مبدعها ميزتين: الذكاء والقدرة الجسمانية على التعامل مع البيئة، وسوف نذكر المزيد عن طبيعة الذكاء في الفصل الرابع «نوع جديد من الذكاء على الأرض»، لكن من الواضح أنه يعني القدرة على استغلال الموارد المحدودة الاستغلال الأمثل، بما في ذلك الزمن، وهذه القدرة مفيدة بصورة أساسية من أجل البقاء، لذلك فهي مُفضلة، والقدرة على التعامل مع البيئة مفيدة أيضًا، وإلا سيكون الكائن الحي تحت رحمة بيئته من أجل توفير الأمن والغذاء وإشباع احتياجاته الأخرى، ولا بد عاجلًا أو آجلًا أن يظهر كائن حي يتمتع بالميزتين.

## حتمية الحوسبة

> إن وصف الإنسان بأنه حيوان صانع للأدوات ليس تعريفًا خاطئًا، فقد كانت أولى ابتكاراته لدعم حياته البرية هي أدوات ذات تركيب يتسم بالبساطة الشديدة والبدائية، وآخر إنجازاته في استخدام المعدات الآلية — ليس بديلًا عن مهارة اليد البشرية فقط، ولكن عن بطء العقل البشري — تقوم على استخدام الأدوات التي تتطور دائمًا.
>
> تشارلز بابدج Charles Babbage

كل العمليات الأساسية التي تعرضنا لها ــ تطور الكون، وتطور صور الحياة، والتطور اللاحق للتكنولوجيا ــ تطورت كلها بمعدلات أسية، وكان بعضها يتباطأ والبعض الآخر يتسارع. ما الخيط المشترك هنا؟ لماذا تباطأ علم الكون أسيًّا بينما تسارع علم التطور؟ الإجابات مدهشة، وهي أساسية لفهم القرن الحادي والعشرين.

لكن قبل أن أحاول الإجابة على هذين السؤالين، دعنا ندرس مثالًا آخر للتسارع: النمو الأسي للحوسبة.

في المراحل المبكرة لتطور أشكال الحياة، ظهرت لدى الأعضاء المتخصصة القدرة على الحفاظ على الحالات الداخلية والاستجابة بصور متباينة للمثيرات الخارجية، وبدأ الاتجاه منذ ذلك الحين نحو الأجهزة العصبية المعقدة القادرة على تخزين كميات هائلة من البيانات، والتعرف على الأنماط المتكررة في المثيرات المرئية والمسموعة والملموسة، والمشاركة في مستويات أكثر تعقيدًا من التفكير المنطقي. وقد كانت القدرة على التذكر وعلى حل المسائل ــ الحوسبة ــ بداية تطور الكائنات الحية عديدة الخلايا.

وتلعب الحوسبة دورًا مماثلًا في تطور التكنولوجيا التي ابتكرها الإنسان، المنتجات أكثر فائدة لو استطاعت المحافظة على الحالات الداخلية واستجابت تفاضليًّا للأحوال والمواقف المتغيرة. وحيث إن الآلات تصل إلى ما هو أبعد من مجرد أدوات لتوسعة امتداد وقوة الإنسان، فقد بدأت أيضًا في إحداث تراكم في القدرة على التذكر وأداء المعالجات المنطقية. وتم تجميع الكامات، والتروس والروافع البسيطة للعصور الوسطى إلى الآلات ذاتية الحركة التي ابتكرت في عصر النهضة الأوروبي. وأصبحت الكمبيوترات الميكانيكية التي ظهرت أولًا في القرن السابع عشر معقدة بشكل متزايد، وبلغت الذروة في أول إحصاء أمريكي آلي في ١٨٩٠. ولعبت الكمبيوترات دورًا مهمًّا في أحد مسارح الحرب العالمية الأولى على الأقل، وتطورت في تسارع مستمر منذ ذلك الحين.

## دورة حياة التكنولوجيا

تكافح التكنولوجيات من أجل البقاء، وتتطور وتخوض دورات حياة خاصة بها، ونستطيع تحديد سبع مراحل مختلفة. خلال مرحلة الإرهاصات تتوفر المتطلبات الأساسية للتقنية، وقد يستطيع الحالمون تصور اتحاد هذه العناصر معًا، لكننا لا نعتبر الحلم مرادفًا للاختراع، حتى لو كانت الأحلام مدونة، فقد

رسم ليوناردو دا فينشي Leonardo da Vinci صورًا مقنعة لطائرات وسيارات، لكننا لا نعتبره مخترعًا لأي منهما.

المرحلة الثانية — وهي مرحلة نحتفي بها كثيرًا في ثقافتنا — هي الاختراع، وهي مرحلة وجيزة جدًّا، لا تختلف في بعض الجوانب عن عملية الميلاد بعد فترة طويلة من المخاض، وهنا يمزج المخترع حب الاستطلاع والمهارات العملية والعزيمة وقدرًا من الاستعراض عادة للجمع بين الأساليب المختلفة بطريقة جديدة للخروج بتكنولوجيا جديدة.

المرحلة التالية هي التطوير، حيث يحمي الاختراع ويدعمه أوصياء لديهم شغف به (قد يكون من بينهم المخترع الأصلي)، وكثيرًا ما تفوق هذه المرحلة في أهميتها مرحلة الاختراع، وقد تتضمن ابتكارًا إضافيًّا يفوق في أهميته الاختراع الأصلي. كان الكثيرون من هواة تجربة أجزاء الآلات قد انتهوا إلى إنشاء عربات ركاب بدون جياد تعمل بالتحكم اليدوي، لكن اختراع هنري فورد Henry Ford للإنتاج على نطاق واسع هو الذي أتاح للسيارة أن تحتل مكانها وتحقق النجاح.

المرحلة الرابعة هي النضج، فمع أن التكنولوجيا تواصل التطور، فإنها تكتسب عندئذ حياة ذاتية وتصبح جزءًا مستقلًّا وراسخًا في المجتمع، وقد تندمج اندماجًا كبيرًا في نسيج الحياة حتى يبدو لكثير من المراقبين أنها ستدوم إلى الأبد، ويؤدي ذلك إلى دراما مثيرة عندما نصل إلى المرحلة التالية التي أطلق عليها مرحلة «المدعين»، فهنا يهدد أحد المدعين بالقضاء على التكنولوجيا القديمة، وقبل الأوان يتوقع المتحمسون لها النصر، وفي حين توفر التكنولوجيا الجديدة بعض الميزات، نجد بعد إعادة النظر أن التكنولوجيا الأحدث ينقصها الجودة أو تفتقر إلى العملية، وعندما تفشل بالفعل في إزاحة النظام القائم، يرى المحافظون في ذلك دليلًا على أن الأسلوب الأصلي سوف يعيش حقًّا إلى الأبد.

يكون ذلك في معظم الأحوال نصرًا قصير الأجل للتكنولوجيا التي أصابتها الشيخوخة، وبعد وقت قصير تنجح تكنولوجيا جديدة عادة في إحالة التكنولوجيا الأصلية إلى التقاعد. في هذا الجزء من دورة الحياة تعيش التكنولوجيا سنواتها الأخيرة في تدهور تدريجي، وقد أصبح يشاركها الهدف منها ووظيفتها منافس أكثر حيوية. وتفضي هذه المرحلة — التي قد تشكل (٥–١٠) بالمائة من دورة الحياة — آخر الأمر إلى مرحلة الأثر التاريخي (من الأمثلة الراهنة: المركبات

التي تجرها الخيول، والهاربسيكورد، والآلة الكاتبة اليدوية، والكمبيوتر الميكانيكي الكهربائي).

لتوضيح تلك المراحل تأمل أسطوانات الفونوغراف، فقد سبقها في منتصف القرن التاسع عشر العديد من الابتكارات بما فيها مسجلة الصوت البدائية phonautograph لإدوراد ليون سكوت دو مارتنفي Édouard-Léon Scott de Martinville، وكانت تسجل ذبذبات الصوت كنموذج مطبوع. غير أن توماس إديسون Thomas Edison هو الذي جمع في ١٨٧٧ كل العناصر بعضها مع بعض واخترع أول جهاز يستطيع تسجيل الصوت وإعادته، وتطلب الأمر مزيدًا من التنقيح للفونوغراف لكي يصبح عمليًّا من الناحية التجارية، وأصبح تكنولوجيا ناضجة تمامًا في ١٩٤٨ عندما أنتجت كولومبيا الأسطوانة التي تدور بسرعة ٣٣ دورة في الدقيقة وقدمت آر سي إيه فيكتور RCA Victor الأسطوانة الصغيرة التي تدور بسرعة ٤٥ دورة في الدقيقة. كان المدعي شريط الكاسيت الذي ظهر في الستينيات وانتشر في السبعينيات، وتنبأ المتحمسون الأوائل أن حجمه الصغير وإمكانية إعادة التسجيل عليه سيقضيان على الأسطوانات التي يعيبها كبر حجمها وقابليتها للخدش.

على الرغم من هذه الميزات الواضحة، كان ينقص أشرطة الكاسيت الوصول العشوائي (القدرة على الاستماع إلى مختارات بتتابع معين)، وهي عرضة لأنواع معينة من التشويش وينقصها نقاء الصوت. وفي أواخر الثمانينيات وبداية التسعينيات وجهت الأقراص المضغوطة CD الضربة القاضية، فقد أتاحت هذه الأسطوانات الوصول العشوائي بالإضافة إلى مستوى من جودة الصوت يقترب من حدود الجهاز السمعي الإنساني، ودخلت أسطوانات الفونوغراف مرحلة الاختفاء التدريجي في النصف الأول من عقد التسعينيات، ومع أن هذه الأسطوانات لا تزال تُنتَج بكميات صغيرة، فإن التكنولوجيا التي ولدت على يد أديسون منذ أكثر من قرن في طريقها لأن تصبح أثرًا تاريخيًّا.

يعد الكتاب المطبوع مثالًا آخر، فهو الآن تكنولوجيا ناضجة تمامًا؛ إنه الآن في مرحلة المدعين، والمدعي هو الكتاب «الافتراضي» المعتمد على البرمجيات. ونظرًا لافتقار الجيل الحالي من الكتاب الافتراضي للوضوح والتباين وغيرهما

من المميزات البصرية للورق والحبر، فالجيل الحالي من الكتاب الافتراضي ليست له القدرة على إزاحة المطبوعات المعتمدة على الورق. غير أن انتصار الكتاب الورقي سيكون قصير الأجل، فسوف تنجح الأجيال المستقبلية من الكمبيوترات في توفير بديل مقبول تمامًا للورق.

## ظهور قانون مور

في ١٩٦٥ لاحظ جوردون مور Gordon Moore ـ أحد مطوري الدائرة المتكاملة ورئيس شركة إنتيل آنذاك ـ أن مساحة سطح الترانزستور (كما هي محفورة على الدائرة المتكاملة) تنخفض بنحو ٥٠ بالمائة كل اثني عشرة شهرًا، وفي ١٩٧٥ نقل عنه كثيرون أنه عدَّل هذا الرقم إلى ثمانية عشر شهرًا، ويزعم مور أنه عدل الرقم في ١٩٧٥ إلى أربعة وعشرين شهرًا، ويبدو أن ذلك أكثر ملائمة للبيانات.

النتيجة أنك تستطيع كل عامين أن تضاعف عدد الترانزستورات في الدائرة المتكاملة، وهذا يضاعف عدد عناصر الشريحة فضلًا عن سرعتها، وحيث إن تكلفة الدائرة المتكاملة ثابتة إلى حد ما، فإن ذلك يعني أنك تستطيع كل عامين الحصول على ضعف العدد من الدوائر الكهربية التي تعمل بضعف السرعة بنفس السعر. وبالنسبة لكثير من التطبيقات، يعد ذلك أربعة أضعاف القيمة، وهذه الملاحظة صحيحة لكل أنواع الدوائر، من شرائح الذاكرة إلى معالجات الكمبيوتر.

أصبحت هذه الملاحظة الدقيقة معروفة باسم قانون مور للدوائر الكهربائية المتكاملة، وهذه الظاهرة الرائعة للقانون هي التي وقفت وراء تسارع الحوسبة خلال السنوات الأربعين الماضية، ولكن إلى متى سيستمر ذلك؟ أعربت شركات إنتاج الشرائح الإلكترونية عن ثقتها في أن قانون مور سيظل ساريًا لمدة تتراوح من خمس عشرة إلى عشرين سنة أخرى، وذلك باستمرارها في استخدام طباعة ضوئية ذات دقة أعلى بصورة متزايدة للإقلال من حجم وحدات الترازستور في المستقبل ـ التي تقاس اليوم بجزء من المليون من المتر ـ وغيرها من المكونات الأساسية،[١٨] لكن عندئذ ـ بعد نحو ستين عامًا ـ سوف ينتهي هذا النمط، فلن يزيد سمك الطبقة العازلة في الترانزستورات عن بضع ذرات فقط، ولن يصلح الأسلوب التقليدي لتقليله.

ماذا سيحدث عندئذ؟

| قانون مور في التطبيق | |
|---|---|
| العام | ترانزستورات في أحدث شريحة لإنتل* |
| ١٩٧٢ | ٣٥٠٠ |
| ١٩٧٤ | ٦٠٠٠ |
| ١٩٧٨ | ٢٩٠٠٠ |
| ١٩٨٢ | ١٣٤٠٠٠ |
| ١٩٨٥ | ٢٧٥٠٠٠ |
| ١٩٨٩ | ١٢٠٠٠٠٠ |
| ١٩٩٣ | ٣١٠٠٠٠٠ |
| ١٩٩٥ | ٥٥٠٠٠٠٠ |
| ١٩٩٧ | ٧٥٠٠٠٠٠ |
| رابطة مصنعي السلع الإليكترونية الاستهلاكية* | |

نلاحظ أولًا أن النمو الأسي للحوسبة لم يبدأ مع قانون مور للدوائر المتكاملة، وقد رسمت في الشكل التالي «النمو الأسي للحوسبة، ١٩٠٠-١٩٩٨»[١٩] منحنى أسيًّا لتسع وأربعين آلة حوسبة جديرة بالملاحظة ظهرت في القرن العشرين، ويمثل المحور الرأسي سرعة الكمبيوتر لكل وحدة تكلفة (وتقاس بعدد «العمليات الحسابية في الثانية» التي يمكن شراؤها بمبلغ ١٠٠٠ دولار). وكل نقطة على المنحنى البياني تمثل إحدى الآلات؛ كانت الآلات الخمس الأولى تستخدم التكنولوجيا الميكانيكية، يتبعها ثلاثة كمبيوترات كهروميكانيكية (تعتمد على المُرَحِّل)، ثم إحدى عشرة آلة تستخدم الصمامات المفرغة، ثم اثنتا عشرة آلة تستخدم الترانزستورات المنفصلة، والكمبيوترات الثماني عشرة الأخيرة فقط هي التي استخدمت فيها الدوائر المتكاملة.

ثم كيَّفت منحنى للنقاط الذي يطلق عليه متعدد الحدود من الدرجة الرابعة، الذي يسمح حتى أربع انحناءات. أي أنني لا أحاول تهيئة خط مستقيم إلى النقاط، ولكن فقط أقرب منحنى من الدرجة الرابعة. ومع ذلك فإن الخط المستقيم قريب مما حصلت عليه. ويعنى الخط المستقيم، بالنسبة لرسم توضيحي أسي، النمو الأسي. ويوضح الفحص

المتمهل لهذه النزعة أن المنحنى ينحني بالفعل إلى أعلى قليلًا، مما يشير إلى نمو أسي صغير في معدل النمو الأسي. ولعل ذلك ناتج عن التفاعل إلى نزعتين أسيتين مختلفتين، كما سأوضح في الفصل ٦، «بناء عقول جديدة.» أو قد يكون هناك بالفعل مستويان للنمو الأسي. ومع ذلك حتى لو تبنينا وجهة النظر الأكثر محافظة بأن هناك مستوى واحدًا فقط للتسارع، يمكننا أن نرى أن النمو الأسي للحوسبة لا يبدأ مع قانون مور للدوائر المتكاملة، لكنه يعود إلى قدوم الحوسبة الكهربائية في بداية القرن العشرين.

## أجهزة الحوسبة الميكانيكية

| | | |
|---|---|---|
| (١) | ١٩٠٠ | الآلة التحليلية Analytical Engine |
| (٢) | ١٩٠٨ | منظم جداول هوليريث Hollerith Tabulator |
| (٣) | ١٩١١ | حاسبة مونرو Monroe Calculator |
| (٤) | ١٩١٩ | منظم جداول آي بي إم IBM Tabulator |
| (٥) | ١٩٢٨ | ناشيونال إليس ٣٠٠٠ National Ellis 3000 |

## حاسبات كهروميكانيكية (تعتمد على المُرَحِّل)

| | | |
|---|---|---|
| (٦) | ١٩٣٩ | Zuse 2 |
| (٧) | ١٩٤٠ | Bell Calculator Model 1 |
| (٨) | ١٩٤١ | Zuse 3 |

## حاسبات الصمامات المفرغة

| | | |
|---|---|---|
| (٩) | ١٩٤٣ | Colossus |
| (١٠) | ١٩٤٦ | ENIAC |
| (١١) | ١٩٤٨ | IBM SSECz |
| (١٢) | ١٩٤٩ | BINAC |
| (١٣) | ١٩٤٩ | EDSAC |
| (١٤) | ١٩٥١ | Univac 1 |
| (١٥) | ١٩٥٣ | Univac 1103 |

(١٦) ١٩٥٣ IBM 701

(١٧) ١٩٥٤ EDVAC

(١٨) ١٩٥٥ Whirlwind

(١٩) ١٩٥٥ IBM 704

## حاسبات الترانزستورات المنفصلة

(٢٠) ١٩٥٨ Datamatic 1000

(٢١) ١٩٥٨ Univac 11

(٢٢) ١٩٥٩ Mobidic

(٢٣) ١٩٥٩ IBM 7090

(٢٤) ١٩٦٠ IBM 1620

(٢٥) ١٩٦٠ DEC PDP-1

(٢٦) ١٩٦١ DEC PDP-4

(٢٧) ١٩٦٢ Univac III

(٢٨) ١٩٦٤ CDC 6600

(٢٩) ١٩٦٥ IBM 1130

(٣٠) ١٩٦٥ DEC PDP-8

(٣١) ١٩٦٦ IBM 360 Model 75

## حاسبات الدوائر المتكاملة

(٣٢) ١٩٦٨ DEC PDP-10

(٣٣) ١٩٧٣ Intellec-8

(٣٤) ١٩٧٣ Data General Nova

(٣٥) ١٩٧٥ Altair 8800

(٣٦) ١٩٧٦ DEC PDP-11 Model 70

(٣٧) ١٩٧٧ Cray 1

(٣٨) ١٩٧٧ Apple II

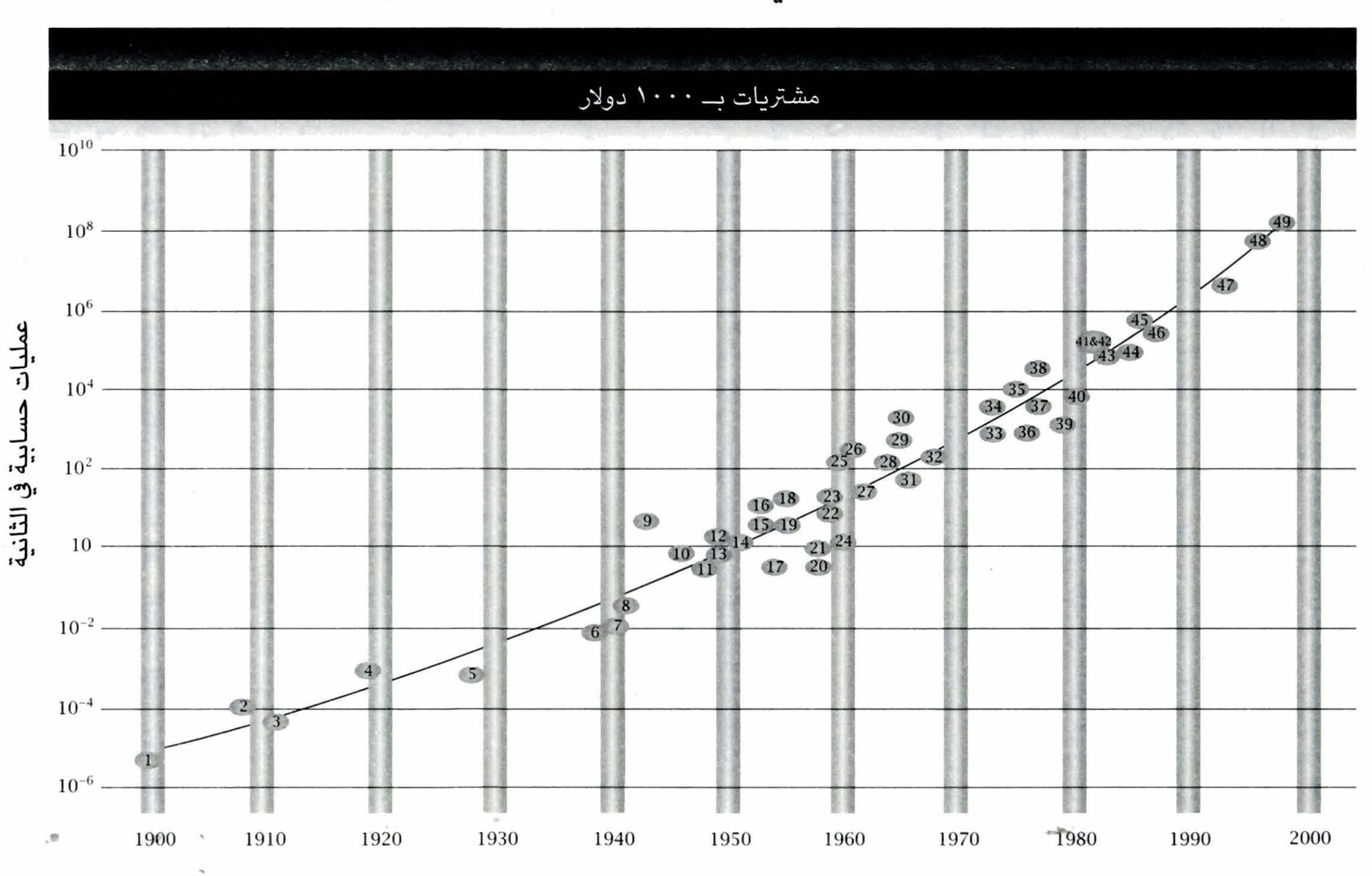
(٣٩) ١٩٧٩ DEC VAX-II Model 70

| | |
|---|---|
| (٤٠) ١٩٨٠ | Sun-1 |
| (٤١) ١٩٨٢ | IBM PC |
| (٤٢) ١٩٨٢ | Compaq Portable |
| (٤٣) ١٩٨٣ | IBM AT-80286 |
| (٤٤) ١٩٨٤ | Apple Macintosh |
| (٤٥) ١٩٨٦ | Compaq Deskpro |
| (٤٦) ١٩٨٧ | Apple Mac II |
| (٤٧) ١٩٩٣ | Pentium PC |
| (٤٨) ١٩٩٦ | Pentium PC |
| (٤٩) ١٩٩٨ | Pentium II PC |

في الثمانينيات لاحظ عدد من المراقبين — منهم البروفيسور هانس مورافيك Hans Moravec من جامعة كارنيجي ميلون، وديفيد والتز David Waltz من شركة نيبون إلكتريك، وأنا — أن قوة الكمبيوترات كانت تنمو أسيًّا قبل وقت طويل من اختراع الدوائر المتكاملة في ١٩٥٨ أو حتى الترانزستورات في ١٩٤٧،[٢٠] وكانت سرعة وكثافة الحوسبة تتضاعف كل ثلاث سنوات في بداية القرن العشرين، وأصبحت تتضاعف كل سنة في نهاية القرن العشرين، بصرف النظر عن نوع المكونات المستخدمة. ومن المدهش أن «القانون الأسي للحوسبة» ظل ساريًا طوال قرن على الأقل، من تقنية الحوسبة الميكانيكية القائمة على البطاقات التي استخدمت في الإحصاء الأمريكي عام ١٨٩٠، إلى الكمبيوترات القائمة على المُرَحِّل التي استخدمت لحل شفرة النازي، إلى حاسبات الصمامات المفرغة في الخمسينيات، إلى الكمبيوترات القائمة على الترانزستور في الستينيات، إلى كل أجيال الدوائر المتكاملة في العقود الأربعة الأخيرة. والكمبيوترات أكثر قوة بنحو مائة مليون مرة لنفس وحدة التكلفة مما كانت عليه منذ نصف قرن، ولو أن صناعة السيارات حققت مثل هذا التقدم في الخمسين سنة الماضية، لكانت تكلفة السيارة اليوم جزءًا من مائة جزء من السنت ولانطلقت بسرعة أعلى من سرعة الضوء.

وكما هو الحال بالنسبة لأي ظاهرة تنمو بصورة أسية، تكون الزيادات شديدة البطء في البداية بحيث تُعتبر عمليًّا غير ملحوظة، وعلى الرغم من العقود المتعددة من التقدم منذ استخدام أول أجهزة حسابية كهربية في إحصاء عام ١٨٩٠، فلم تلاحظ هذه الظاهرة إلا في منتصف الستينيات (مع أن ألان تورنج Alan Turing كانت لديه فكرة

## النمو الأسي للحوسبة ١٩٠٠-١٩٩٨



غامضة عنها في ١٩٥٠). وحتى في ذلك الحين لم يدرك أهميتها سوى مجموعة صغيرة من مهندسي وعلماء الكمبيوتر. والآن عليك فقط أن تتصفح إعلانات الكمبيوترات الشخصية ـــ أو إعلانات الألعاب ـــ في صحيفتك المحلية لترى التطورات المثيرة في الحوسبة التي تحدث الآن كل شهر.

لذلك فإن قانون مور للدوائر المتكاملة لم يكن النموذج الأول بل النموذج الخامس لاستمرار هذا النمو الأسي للحوسبة الذي استغرق الآن قرنًا كاملًا، وكان كل نموذج جديد يظهر في الوقت الذي تدعو الحاجة فيه إلى ظهوره، ويعني ذلك أن النمو الأسي لن يتوقف مع نهاية قانون مور. لكن الإجابة عن سؤالنا حول استمرار النمو الأسي للحوسبة تعد مهمَّة في فهمنا للقرن الحادي والعشرين. لذلك فالوصول إلى فهم أعمق للطبيعة الحقيقية لهذه النزعة يحتاج منا أن نعود إلى أسئلتنا الأولى حول الطبيعة الأسية للزمن.

## قانون الزمن والشواش

> هل تدفق الزمن أمر حقيقي، أو أن إحساسنا بمرور الزمن مجرد وهم يخفي حقيقة أن ما هو واقعي ليس سوى تجميع هائل فقط للحظات؟
>
> لي سمولين Lee Smolin

> الزمن طريقة الطبيعة في منع كل شيء من الحدوث دفعة واحدة.
>
> جرافيتو Graffito

> الأشياء تشبه ما هي عليه الآن أكثر مما كانت عليه في أي وقت مضى.
>
> دوايت إيزنهاور Dwight Eisenhower

تأمل هذه النزعات الأسية المختلفة:

- تباطؤ السرعة الأسي الذي اتبعه الكون، بمرور ثلاث حقب في أول جزء من المليار من الثانية، واستغرقت أحداث بارزة لاحقة مليارات السنوات.
- تباطؤ السرعة الأسي في تطور الكائن الحي؛ ففي الشهر الأول بعد التخصيب ينمو لنا جسم ورأس، بل وذيل، وينمو لنا مخ في الشهرين الأوليين، وبعد أن نترك رحم الأم، يكون نضجنا البدني والعقلي سريعًا في البداية، ففي السنة الأولى نتعلم

الأشكال الأساسية للحركة والاتصال، ونتعرض لطفرات مهمة كل شهر أو نحو ذلك، وفيما بعد يظل إيقاع الأحداث الهامة في تباطؤ مستمر، فتستغرق أعوامًا ثم عقودًا.

- التسارع الأسي لتطور أشكال الحياة على الأرض.
- التسارع الأسي لتطور التكنولوجيا التي صنعها الإنسان، وقد أخذ سرعته من سرعة تطور أشكال الحياة.
- النمو الأسي للحوسبة. لاحظ أن النمو الأسي لعملية ما مع مرور الزمن مجرد طريقة أخرى للتعبير عن التسارع الأسي، فعلى سبيل المثال استغرق الأمر تسعين سنة للوصول إلى مليون عملية في الثانية (وحدة قياس سرعة الكمبيوتر) لكل ألف دولار، والآن نضيف مليون عملية في الثانية لكل ألف دولار كل يوم، ومن الواضح أن المعدل الكلي للاختراع يتسارع أيضًا.
- قانون مور للدوائر المتكاملة. كما ذكرت، كان هذا هو النموذج الخامس الذي يحقق النمو الأسي للحوسبة.

وتخطر على البال عدة أسئلة:

ما الخيط المشترك بين هذه المسارات الأسية المختلفة؟

لماذا تتسارع بعض من هذه العمليات بينما تتباطأ أخرى؟

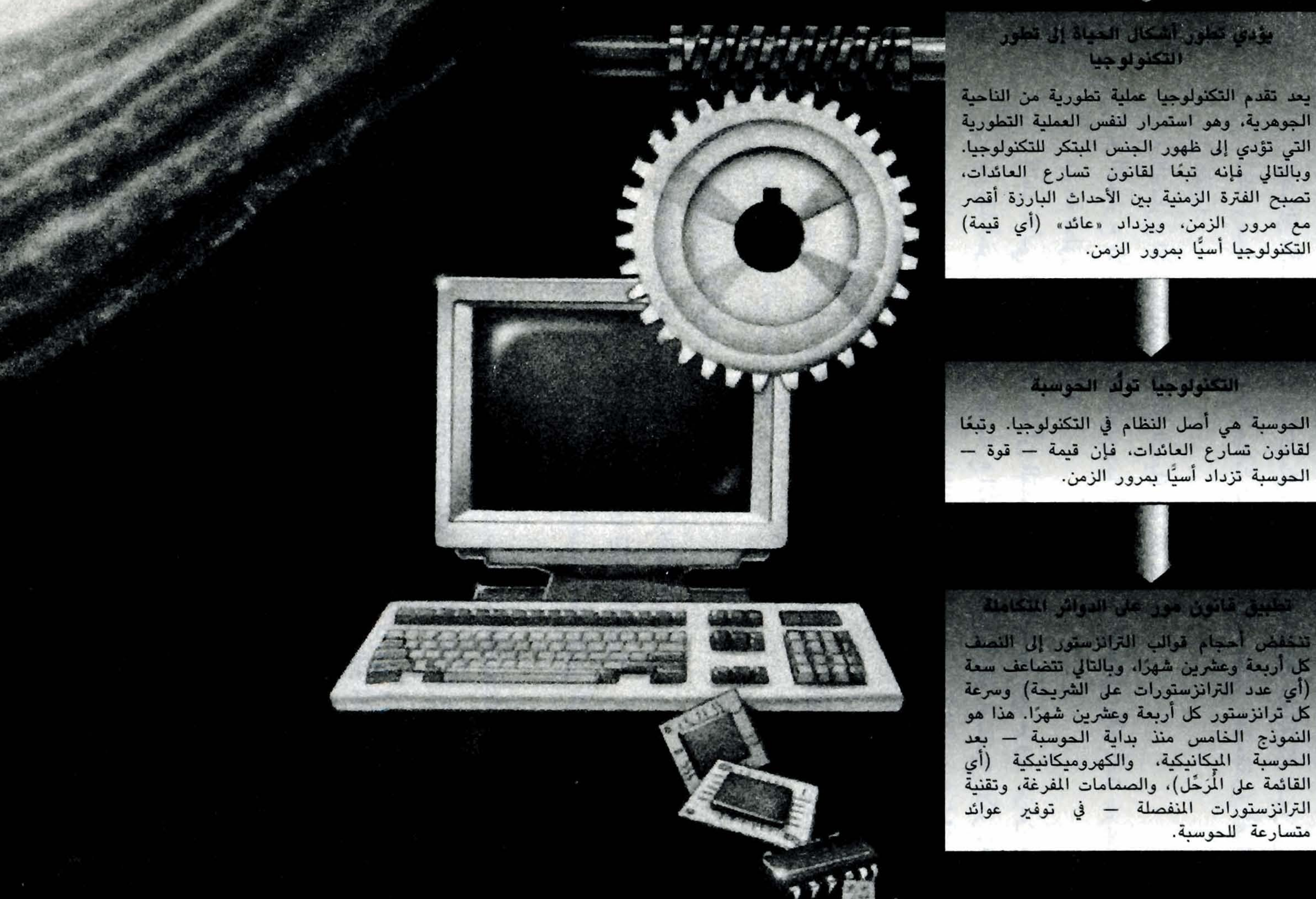
وما الذي يوضحه لنا ذلك فيما يتعلق باستمرار النمو الأسي للحوسبة عندما ينتهي قانون مور؟

هل قانون مور مجرد مجموعة من التوقعات والأهداف الاصطناعية، كما يؤكد راندي إيزاك Randy Isaac، رئيس قسم الأبحاث في آي. بي. إم.؟ أم أنه جزء من ظاهرة أعمق تتجاوز الطباعة الضوئية للدوائر المتكاملة؟

بعد التفكير في العلاقة بين هذه المسارات المتباينة ظاهريًّا لعدة سنوات، أصبحت السمة المشتركة المدهشة واضحة لي.

ما الذي يحدد تسارع الزمن أو تباطؤه؟ الإجابة المؤكدة هي أن الزمن يتحرك بالنسبة إلى كمية الشواش، ويمكننا صياغة قانون الزمن والشواش كما يأتي:

> قانون الزمن والشواش: في عملية ما تتمدد الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة (أي الأحداث التي تغير طبيعة العملية، أو تؤثر تأثيرًا قويًّا على مستقبل العملية) أو تتقلص مع كمية الشواش.



يؤدي تطور أشكال الحياة إلى تطور التكنولوجيا
يعد تقدم التكنولوجيا عملية تطورية من الناحية الجوهرية، وهو استمرار لنفس العملية التطورية التي تؤدي إلى ظهور الجنس المبتكر للتكنولوجيا. وبالتالي فإنه تبعًا لقانون تسارع العائدات، تصبح الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة أقصر مع مرور الزمن، ويزداد «عائد» (أي قيمة) التكنولوجيا أسيًّا بمرور الزمن.
التكنولوجيا تولِّد الحوسبة
الحوسبة هي أصل النظام في التكنولوجيا. وتبعًا لقانون تسارع العائدات، فإن قيمة — قوة — الحوسبة تزداد أسيًّا بمرور الزمن.
تطبيق قانون مور على الدوائر المتكاملة
تنخفض أحجام قوالب الترانزستور إلى النصف كل أربعة وعشرين شهرًا، وبالتالي تتضاعف سعة (أي عدد الترانزستورات على الشريحة) وسرعة كل ترانزستور كل أربعة وعشرين شهرًا. هذا هو النموذج الخامس منذ بداية الحوسبة — بعد الحوسبة الميكانيكية، والكهروميكانيكية (أي القائمة على المُرَحِّل)، والصمامات المفرغة، وتقنية الترانزستورات المنفصلة — في توفير عوائد متسارعة للحوسبة.

**قانون الزمن والشواش**

في عملية ما، تتمدد الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة (أي الأحداث التي تغير طبيعة العملية، أو تؤثر بقوة على مستقبل العملية) أو تتقلص مع كمية الشواش.

**قانون تسارع العائدات**

مع زيادة النظام أسيًّا، يتسارع الزمن أسيًّا (أي أن الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة تصبح أقصر بمرور الزمن).

**تطبيق قانون تسارع العائدات على عملية تطورية**

لا تُعتبر العملية التطورية عملية مغلقة، لذلك يعتمد التطور في خيارات تنوعه على الشواش في النظام الأكبر الذي يحدث فيه، و...

- يعتمد التطور على نظامه المتزايد.

وبالتالي

- في العملية التطورية يتزايد النظام أسيًّا.

وبالتالي

- يتسارع الزمن أسيًّا.

وبالتالي

- تتسارع العائدات (أي المنتجات ذات الأهمية للعملية).

**تطبيق قانون تسارع العائدات على تطور أشكال الحياة**

تصبح الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة (أي تفرع جديد مهم) أقصر أسيًّا بمرور الزمن.

**قانون زيادة الشواش**

مع تزايد الشواش أسيًّا، يتباطأ الزمن أسيًّا (أي أن الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة تصبح أطول بمرور الزمن).

**تطبيق قانون زيادة الشواش على حياة كائن**

تطور الكائن الحي من الحمل كخلية مفردة حتى النضج هو عملية تتحرك نحو مزيد من التنوع، وبالتالي مزيد من الفوضى. بذلك تصبح الفترات الزمنية بين الأحداث البارزة أطول بمرور الزمن.

**تطبيق قانون زيادة الشواش على الكون**

يبدأ الكون «كمفردة»، وهي نقطة غير مميزة بدون حجم وبدون شواش، والأحداث الحقبية المبكرة جدًا كانت بالغة السرعة. ونما الكون بضخامة في الشواش مع مرور الزمن. وهكذا تباطأ الزمن (أي أن الفترات الزمنية بين الأحداث البارزة أصبحت أسيًّا أكثر طولًا بمرور الزمن).

عندما تكون هناك كمية كبيرة من الشواش في عملية ما، يستغرق وقوع الأحداث الهامة مزيدًا من الوقت، والعكس صحيح، فمع زيادة النظام تتناقص الفواصل الزمنية بين الأحداث البارزة.

يجب أن نكون حذرين هنا في تعريفنا للشواش chaos، فهو يشير إلى كمية أحداث الفوضى (أي الأحداث العشوائية) وثيقة الصلة بالعملية، وإذا كنا نتعامل مع حركة عشوائية لذرات وجزيئات في غاز أو سائل، فإن الحرارة تكون عندئذ مقياسًا مناسبًا، وإذا كنا نتعامل مع عملية ظهور أشكال الحياة، فإن الشواش يمثل الأحداث غير المتوقعة التي تواجهها الكائنات الحية، والطفرات العشوائية التي تندمج في الشفرة الوراثية.

دعنا نر كيف ينطبق قانون الزمن والشواش على أمثلتنا. إذا كان الشواش يزداد، يتضمن قانون الزمن والشواش القانون الفرعي التالي:

> قانون زيادة الشواش: مع زيادة الشواش بمعدل أسي، يتباطأ الزمن أسيًّا (أي أن الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة تصبح أطول بمرور الزمن).

يتناسب ذلك تمامًا مع الكون، عندما كان الكون في مجمله نقطة وحيدة «جرداء» ـــ نقطة متفردة منتظمة تمامًا في المكان والزمان ـــ لم يكن هناك شواش ولم تستغرق الأحداث البارزة وقتًا يذكر، ومع ازدياد حجم الكون، ازداد الشواش أسيًّا، وازدادت بالمثل الفترات الزمنية اللازمة للتغيرات الحقبية. والآن مع وجود مليارات المجرات المنتشرة عبر تريليونات السنوات الضوئية في الفضاء، يحتوي الكون على كميات هائلة من الشواش، ويتطلب الأمر بالفعل مليارات السنوات حتى يتم الإعداد لحدوث لتحولات الكبرى.

نرى ظاهرة مشابهة في مسيرة حياة الكائن الحي، فنحن نبدأ كخلية واحدة مخصبة، لذلك يكون هناك شواش محدود فقط، وعندما يصل الأمر إلى تريليونات الخلايا، يزداد الشواش ازديادًا كبيرًا، وأخيرًا في نهاية حياتنا، تتدهور أجسامنا مسببة عشوائية أكبر، لذلك فإن الفترة الزمنية بين الأحداث البيولوجية البارزة تصبح أطول مع تقدمنا في العمر، وهذا ما نشعر به فعلًا.

لكن الجانب العكسي لقانون الزمن والشواش هو الأكثر أهمية وارتباطًا بأهدافنا، تأمل القانون الفرعي العكسي، الذي أطلق عليه العائدات المتسارعة Accelerating Returns.

## الفوضى

أشرت فيما سبق إلى أن مفهوم الشواش في قانون الزمن والشواش مفهوم معقد، والشواش وحده ليس كافيًا، فالفوضى بالنسبة لأهدافنا تتطلب عشوائية تتعلق بالعملية التي نركز عليها، وعكس الفوضى ـــ وهو ما أطلقت عليه «النظام order» في قانون العائدات المتسارعة السابق ـــ أكثر تعقيدًا.

دعنا نبدأ من تعريفنا للفوضى ونعد إلى الخلف، إذا كانت الفوضى تمثل تعاقبًا عشوائيًّا للأحداث، فلا بد أن نقيض الفوضى يعني ضمنًا «ليس عشوائيًّا»، وإذا كانت العشوائية تعني التغيرات التي لا يمكن التنبؤ بها، فقد نستنتج أن النظام يعني أنه قابل للتنبؤ به، لكن هذا استنتاج خاطئ.

باستعارة صفحة من نظرية المعلومات[٢١] تأمل الفرق بين المعلومات information والضجيج noise. المعلومات هي سلسلة من البيانات ذات معنى في عملية ما، مثل شفرة الدي إن إيه DNA لدى الكائن الحي، أو البتات في برامج الكمبيوتر، والضجيج في المقابل هو تتابع عشوائي، وكلاهما لا يمكن التنبؤ به. الضجيج بطبيعته لا يمكن التنبؤ به، لكنه لا يحمل بيانات، والمعلومات أيضًا لا يمكن التنبؤ بها. لو استطعنا أن نتنبأ ببيانات المستقبل من بيانات الماضي، فإن بيانات المستقبل لن تصبح عندئذ معلومات. تأمل على سبيل المثال التسلسل الذي يتبادل فيه صفر وواحد (٠١٠١٠١٠١ ...). هذا التسلسل منظم بالتأكيد، ويمكن التنبؤ به تمامًا، ولأنه قابل للتنبؤ به لا نعتبره حاملًا للمعلومات، بعد الزوج الأول من البتات.

بذلك فإن النظام لا يعني الترتيب، لأن النظام يحتاج إلى معلومات، لذلك ربما على أن استخدم كلمة معلومات بدلًا من كلمة نظام، غير أن المعلومات وحدها غير كافية أيضًا لهدفنا. تأمل دليل الهاتف، إنه يمثل بالتأكيد كمية كبيرة من المعلومات، وبعض النظام أيضًا، لكننا إذا ضاعفنا حجم دليل الهاتف، فإننا نزيد من كمية البيانات، لكننا لا نصل إلى درجة أعلى من النظام.

فالنظام من ثم هو المعلومات التي تناسب غرضًا ما، ومقياس النظام هو مقياس مدى ملاءمة المعلومات للغرض، والغرض في تطور أشكال الحياة هو البقاء، وعند تطبيق خوارزمية تطورية (برنامج يحاكي التطور لحل مشكلة) على الاستثمار في البورصة على سبيل المثال، يكون الهدف هو تحقيق الربح. وامتلاك المزيد من المعلومات لا ينتج عنه بالضرورة ملاءمة أفضل، وقد يتضمن الحل الأمثل لغرض ما بيانات أقل.

استُخدِم مفهوم «التعقيد» حديثًا لوصف طبيعة المعلومات الناتجة عن عملية تطورية، والتعقيد يتناسب منطقيًّا مع مفهوم النظام الذي أتحدث عنه، ومع كل ذلك يبدو أن التصميمات التي أنتجها تطور أشكال الحياة على الأرض تزداد تعقيدًا بمرور الوقت. غير أن التعقيد ليس ملائمًا تمامًا أيضًا، أحيانًا يجري التوصل إلى درجة أعلى من النظام — تلاؤم أفضل مع الهدف — من خلال التبسيط بدلًا من مزيد من الزيادة في التعقيد. وكما قال أينشتاين: «علينا أن نلتزم البساطة في كل شيء قدر المستطاع، لكن ليس أبسط من ذلك»، وعلى سبيل المثال فإن نظرية جديدة تربط أفكارًا تبدو متباينة في نظرية أكثر تماسكًا تقلل التعقيد لكنها مع ذلك قد تزيد «النظام من أجل الغرض» الذي أتحدث عنه، غير أن التطور قد أظهر أن الاتجاه العام نحو زيادة النظام ينتج عنه عادة مزيد من التعقيد.[٢٢]

وهكذا فإن تحسين حل لمشكلة — قد يُزيد أو يقلل من التعقيد — يزيد النظام، وهكذا لا يتبقى إلا تعريف المشكلة، وكما سنرى فإن التعريف الجيد للمشكلة هو في معظم الأحوال مفتاح العثور على الحل.

## قانون زيادة الإنتروبيا مقارنة بزيادة النظام

يدور الاعتبار الثاني حول العلاقة بين قانون الزمن والشواش والقانون الثاني للديناميكا الحرارية، فبخلاف القانون الثاني لا يتعلق قانون الزمن والشواش بالضرورة بالنظام المغلق، فهو يتعامل بدلًا من ذلك مع عملية ما. الكون نظام مغلق (لا يخضع لتأثير خارجي، لأنه ليس هناك أي شيء خارج الكون)، لذلك فإنه تبعًا للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، يزداد الشواش ويتباطأ الزمن. لكن التطور على العكس ليس على وجه الدقة نظامًا مغلقًا، فهو يحدث وسط شواش كبير، ويعتمد على الفوضى التي يستمد منها خيارات التنوع، ومن هذه الخيارات تحدد العملية التطورية دائمًا اختياراتها لزيادة النظام. حتى الكوارث التي تبدو وكأنها تقدم مصدرًا جديدًا للشواش تنتهي على الأرجح إلى زيادة — أو تعميق — النظام الناتج عن عملية تطورية ما. تأمل على سبيل المثال النيزك الكبير الذي يُعتقد أنه قضى على الكائنات الحية الضخمة مثل الديناصورات منذ ٦٥ مليون سنة، فقد أدى اصطدام هذا النيزك إلى زيادة هائلة مفاجئة في الشواش (وكميات ضخمة من الغبار أيضًا)، ومع ذلك يبدو أنه أسرع بظهور الثدييات في بيئة

كانت تسيطر عليها الزواحف العملاقة، وأدى آخر الأمر إلى ظهور النوع القادر على ابتكار التكنولوجيا، وعندما هدأ الغبار (بالمعنى الحرفي)، كانت أزمة النيزك قد زادت من النظام.

كما أوضحت من قبل، فإن جزءًا بالغ الصغر من المادة في الكون ـــ أو على كوكب حامل للحياة والتكنولوجيا مثل الأرض ـــ يمكن اعتباره جزءًا من ابتكارات التطور، لذلك فإن التطور لا يتناقض مع قانون زيادة الإنتروبيا، بل يعتمد عليه كمصدر لا ينتهي أبدًا للخيارات.

كما أشرت فقد كان ظهور النوع القادر على ابتكار التكنولوجيا أمرًا حتميًّا بعد نشأة الحياة، فالتكنولوجيا هي استمرار للتطور بوسائل أخرى، وهي في ذاتها عملية تطورية، لذلك هي أيضًا تتسارع.

أحد الأسباب الأساسية في تسارع التطور ـــ سواء تطور أشكال الحياة أو تطور التكنولوجيا ـــ هو أنه يعتمد على نظامه الخاص المتزايد، والاختراعات التي ابتكرها التطور تزيد سرعة التطور وتساعد عليه، وأبرز الأمثلة في حالة تطور أشكال الحياة هو الدي إن إيه الذي يتيح نَسخًا مسجلًا ومحفوظًا لمخطط الحياة والذي تنطلق منه المزيد من التجارب.

وفي حالة تطور التكنولوجيا، أدت الوسائل البشرية دائمة التطور لتسجيل المعلومات إلى ظهور المزيد من التكنولوجيا، فقد صُممت الكمبيوترات الأولى على الورق وجرى تجميعها يدويًّا، والآن يجري تصميمها باستخدام الكمبيوترات حيث تعالج الكمبيوترات نفسها الكثير من التفاصيل حول تصميم الجيل التالي، ثم يجري إنتاجها في مصانع آلية بالكامل تحت إشراف بشري لكن مع تدخل مباشر محدود.

تسعى العملية التطورية للتكنولوجيا إلى تطوير القدرات بمعدل أسي، ويسعى المخترعون إلى تطوير الأشياء بمضاعفتها، فالاختراع ميل للمضاعفة وليس الإضافة، والتكنولوجيا ـــ شأنها شأن أية عملية تطورية ـــ تعتمد على ما حققته، وسوف يستمر هذا الجانب في التسارع عندما تسيطر التكنولوجيا تمامًا على تقدمها الخاص.

يمكننا بذلك استنتاج ما يلي فيما يتعلق بتطور أشكال الحياة والتكنولوجيا:

تطبيق قانون العائدات المتسارعة على عملية تطورية:

- العملية التطورية ليست نظامًا مغلقًا، ومن ثم فإن التطور يعتمد على الشواش في النظام الأكبر الذي يقع فيه لإتاحة خيارات التنوع، و ...
- يعتمد التطور على نظامه الخاص المتزايد.

لذلك ...

- في عملية تطورية، يتزايد النظام أسيًّا.

ومن ثم ...

- يتسارع الزمن أسيًّا.

ومن ثم ...

- تتسارع العائدات (أي المنتجات الثمينة للعملية).

وظاهرة تباطؤ أو تسارع الزمن تحدث في الوقت نفسه، ومن وجهة النظر الكونية يستمر الكون في التباطؤ، ويستمر التطور ــ الذي تعد التكنولوجيا البشرية أبرز صوره في الوقت الراهن ــ في التسارع، وهذان هما جانبا قانون الزمن والشواش، أي التسارع والتباطؤ المتداخلان.

وقانون العائدات المتسارعة الذي نهتم به أكثر يتيح لنا نظامًا هائلًا في التكنولوجيا، مما يؤدي حتمًا إلى ظهور الحوسبة، والحوسبة هي جوهر النظام، فهي تتيح للتكنولوجيا القدرة على التكيف مع بيئتها لكي تقوم بمهمتها، لذلك فإن تكنولوجيا الحوسبة هي أيضًا عملية تطورية تعتمد على تقدمها الخاص، ويصبح زمن إنجاز هدف محدد أقصر أسيًّا بمرور الوقت (مثال على ذلك، استغرق الأمر تسعين عامًا من أجل أول مليون عملية في الثانية MIP لكل ألف دولار، في مقابل يوم واحد لكل مليون عملية إضافية في الثانية في الوقت الحالي)، وليس قولنا إن قوة الحوسبة تنمو أسيًّا مع الزمن إلا طريقة أخرى لقول نفس الشيء.

## إلى أين سينتهي الأمر بقانون مور إذن؟

حسنًا، سينتهي به الأمر إلى التعطل في عام ٢٠٢٠. ظهر قانون مور عام ١٩٥٨ في الوقت المناسب تمامًا وسوف يكون قد أمضى في الخدمة ستين سنة في ٢٠١٨، وهي فترة زمنية طويلة نسبيًّا لنموذج في هذه الأيام، وبخلاف قانون مور فإن قانون العائدات المتسارعة ليس منهجًا مؤقتًا، فهو سمة أساسية للزمن والشواش ــ قانون فرعي من قانون الزمن والشواش ــ ويصف نطاقًا واسعًا من الظواهر والاتجاهات التي تبدو متباينة، وطبقًا لقانون العائدات المتسارعة فسوف تحل تكنولوجيا أخرى للحوسبة محل قانون مور.

## معظم التغيرات الأسية تنتهي ... لكن هذا لا ينتهي

من أكثر الانتقادات التي توجه للتنبؤات بالمستقبل أنها تقوم على استمرارية التغيرات الراهنة دون أن تضع في اعتبارها القوى التي قد توقف هذه التغيرات أو تحول مسارها، ويتصل هذا النقد بصورة خاصة بالتغيرات الأسية، والمثال التقليدي هو ظهور نوع من الكائنات في بيئة جديدة ملائمة، وربما جرى نقله إلى هناك بتدخل الإنسان (أرانب في أستراليا، على سبيل المثال)، فتتضاعف أعداده أسيًّا لفترة من الزمن، لكن هذه الظاهرة تنتهي بسرعة عندما يصطدم الانفجار السكاني بحيوان مفترس جديد أو بحدود بيئته. وبالمثل فإن النمو السكاني الهندسي لنوعنا البشري كان مصدر قلق، لكن تغير العوامل الاجتماعية والاقتصادية ــ بما في ذلك زيادة الرفاهية ــ أبطأت إلى حد بعيد من هذا النمو في السنوات الأخيرة، حتى في الدول النامية.

### منحنى التعلم: اليرقة مقارنة بالإنسان

يصف «منحنى التعلم» اتقان مهارة معينة بمرور الزمن. عندما يتعلم كائن ما ــ يرقة أو إنسان ــ مهارة جديدة، تتضاعف القدرة المكتسبة حديثًا شيئًا فشيئًا، لذلك تأتي بداية منحنى التعلم مشابهة للنمو الأسي الذي نجده في قانون العائدات المتسارعة، غير أن للمهارات حدودًا، لذا ففي حين يزداد اتقان المهارة الجديدة، يبدأ قانون العائدات المتناقصة في العمل، ويصل معدل تزايد اتقان المهارة الجديدة إلى الثبات، لذلك فإن منحنى التعلم هو ما نطلق عليه منحنى إس S لأن النمو الأسي المتبوع بحالة ثبات يشبه حرف S منحنيًا قليلًا إلى اليمين: ∫

يعتبر منحنى التعلم عامًّا بصورة مدهشة، تسير تبعًا له معظم الكائنات عديدة الخلايا، فاليرقات على سبيل المثال تتبع منحنى التعلم عندما تتعلم كيفية تسلق شجرة جديدة بحثًا عن الأوراق، وبالطبع يتعلم البشر شيئًا جديدًا طوال الوقت.

لكن هناك اختلافًا بارزًا بين البشر واليرقات؛ فالبشر قادرون على الاختراع، وهو ابتكار المهارات والمعارف الجديدة والاحتفاظ بها، والاختراع هو القوة الدافعة في قانون العائدات المتسارعة، وهو الذي يلغي الجزء المستوي من المنحنى S، لذلك يحوّل الاختراع منحنى S إلى تزايد أسي لانهائي.

التغلب على منحنى S هو طريقة أخرى للتعبير عن الوضع الفريد للجنس البشري، فلا يبدو أن هناك أنواعًا أخرى من الكائنات الحية تفعل ذلك. لماذا نحن متفردون على هذا النحو، مع العلم بأن الرئيسيات الأخرى قريبة منا إلى درجة كبيرة فيما يتعلق بالتشابه الجيني؟

السبب هو أن القدرة على التغلب على منحنى S تعني دورًا بيئيًّا جديدًا. لقد أوضحت أن هناك بالفعل أنواعًا أخرى شبيهة بالبشر تملك القدرة على الاختراع، لكن يبدو أن البيئة المناسبة قد سمحت لمنافس واحد فقط بالبقاء، لكننا لن نظل وحدنا، فسوف تشاركنا آلاتنا في القرن الحادي والعشرين في هذه البيئة المناسبة الخاصة.

بناء على ذلك، يسرع بعض المراقبين بالتنبؤ بتوقف النمو الأسي للحوسبة.

لكن النمو الذي يتنبأ به قانون العائدات المتسارعة يعد خروجًا عن الحدود المعروفة للنمو الأسي، وحتى لو وقعت كارثة مثل تلك التي أصابت الزواحف التي كانت تعيش معنا في العصر الطباشيري فلن تؤدي إلا إلى انحراف ضئيل عن مسار العملية التطورية، التي تعود بعد ذلك إلى مسارها وتستمر بكامل قوتها (إلا إذا زالت العملية بكاملها).

تتسارع العملية التطورية لأنها تضيف إلى إنجازاتها الماضية، ويتضمن ذلك تطويرًا للوسائل التي تعتمد عليها في تطوير نفسها، وفي تطور أشكال الحياة أتاح اختراع التكاثر الجنسي ـ بالإضافة إلى التشفير الوراثي المعتمد على الدي إن إيه ـ وسائل متطورة لتجربة صفات متنوعة لدى مجموعة سكانية متجانسة، وأدى ظهور مخطط أساسي لأجسام الحيوانات الحديثة في «الانفجار الكامبري» منذ نحو ٥٧٠ مليون سنة إلى تركيز التطور على الصفات ذات المستويات الأعلى مثل زيادة دور المخ، وتتيح ابتكارات التطور في عصر من العصور الوسائل ـ وغالبًا الذكاء ـ اللازمة للابتكار في العصر التالي.

ينطبق قانون العائدات المتسارعة أيضًا على عملية تطور الحوسبة التي تنمو بطبيعتها أسيًّا إلى ما لا نهاية، والمصدران اللذان تحتاجهما ـ النظام المتنامي لتقنية التطور نفسها والشواش الذي منه تأخذ عملية التطور خياراتها لزيادة التنوع ـ مصدران غير محدودين. وفي النهاية سيأتي الابتكار اللازم لمزيد من التطور من الآلات نفسها.

كيف ستستمر قوة الحوسبة في التسارع بعد انتهاء قانون مور؟ لقد بدأنا للتو في استكشاف البعد الثالث في تصميم الشرائح، فالأغلبية الساحقة من الشرائح الحالية

مسطحة، بينما عقلنا منظم في ثلاثة أبعاد، ونحن نعيش في عالم ذي ثلاثة أبعاد، فلماذا إذن لا نستخدم البعد الثالث؟ سوف تتيح لنا التطورات في أشباه الموصلات ــ بما في ذلك الدوائر فائقة التوصيل التي لا تتولد عنها حرارة ــ ابتكار شرائح على هيئة مكعبات لها آلاف الطبقات من الدوائر الكهربية التي سوف تزيد قوة الحوسبة عدة ملايين من المرات، وهناك الكثير من تقنيات الحوسبة الجديدة الأخرى تنتظر لتأخذ دورها ــ الأنابيب النانو مترية، والتقنيات البصرية، والبلورية، وتقنيات الدي إن إيه والكم (التي سنتعرض لها في الفصل السادس تحت عنوان «بناء أمخاخ جديدة») ــ لتحفظ بقاء قانون العائدات المتسارعة في عالم الحوسبة لزمن طويل جدًّا.

## شأن كوكبي

ليس استحداث التكنولوجيا على الأرض مجرد شأن خاص لأحد الأنواع التي لا تحصى على الأرض، إنه حدث محوري في تاريخ الكوكب، ويوفر الذكاء الإنساني ــ وهو أعظم إبداعات التطور ــ الوسائل للمرحلة التالية من التطور، وهي التكنولوجيا، ويتنبأ قانون العائدات المتسارعة بظهور التكنولوجيا.

لقد ظهر الإنسان العاقل المعاصر بعد عشرات الآلاف من السنوات فقط من ظهور أسلافها، وتبعًا لقانون العائدات المتسارعة فإن المرحلة التالية من التطور يجب ألا تزيد الفترة الفاصلة بين أحداثها الكبرى عن آلاف السنوات، وهو زمن قصير جدًّا في حالة التطور القائم على الدي إن إيه، ولا بد أن هذه المرحلة التالية من التطور جاءت نتيجة الذكاء الإنساني نفسه، وهو مثال آخر للآلة الأسية للتطور التي تستخدم ابتكاراتها من إحدى الفترات الزمنية (الكائنات البشرية) في ابتكار تال (الآلات الذكية).

يعتمد التطور على الشواش الضخم في وسطه ــ الزيادة المستمرة في الإنتروبيا التي يحكمها الجانب الآخر من قانون الزمن والشواش ــ من أجل خيارات الابتكار، وهذان الجانبان لقانون الزمن والشواش ــ تباطؤ الزمن الأسي بسبب زيادة الشواش التي يتنبأ بها القانون الثاني في الديناميكا الحرارية، وتسارع الزمن الأسي بسبب زيادة النظام الناتج عن التطور ــ يتواجدان معًا ويتطوران، دون حدود، ويعتبر موردا التطور بصورة خاصة، أي النظام والشواش، غير محدودين، وأنا أؤكد على هذه النقطة لأنها مهمة لفهم الطبيعة التطورية ــ والثورية ــ لتكنولوجيا الكمبيوتر.

كان ظهور التكنولوجيا نقطة تحول في تطور الذكاء على الأرض، لأنها كانت وسيلة جديدة للتطور لحفظ مخططاته، و ستكون نقطة التحول التالية هي التكنولوجيا التي تتطور دون تدخل الإنسان، ووجود فترة زمنية لا تتجاوز عشرات الآلاف من السنوات بين هاتين النقطتين ليس إلا مثالًا آخر لهذا التسارع الأسي ألا وهو التطور.

## مخترع الشطرنج وإمبراطور الصين

لتقديُر آثار هذا التتابع الهندسي (أو أي تتابع هندسي آخر) من المفيد الرجوع إلى أسطورة مخترع الشطرنج وسيده إمبراطور الصين. كان الإمبراطور قد وقع في غرام لعبته الجديدة إلى درجة أنه عرض على مخترعها أن يختار أي شيء يرغبه في المملكة مكافأة له.

«مجرد حبة واحدة من الأرز في المربع الأول، جلالتكم.»

«حبة أرز فقط؟»

«نعم، جلالتكم، حبة أرز فقط في المربع الأول، وحبتا أرز في المربع الثاني.»

«هل هذا كل ما هنالك ــ حبة أرز وحبتان؟»

«حسنًا، إنه كذلك، وأربعة حبات في المربع الثالث، وهكذا دواليك.»

على الفور وافق الإمبراطور على ما يبدو أنه طلب متواضع من المخترع. تقول نسخة أخرى من القصة أن الإمبراطور أفلس لأن مضاعفة حبات الأرز في كل مربع تساوي في النهاية ١٨ مليون تريليون حبة من الأرز، وإذا كانت كل عشر حبات من الأرز تحتل بوصة مربعة، فإن ذلك يحتاج إلى حقول تغطي مرتين سطح الكرة الأرضية، بما في ذلك المحيطات. والنسخة الأخرى من القصة تحكي أن المخترع فقد رأسه. ولم يتضح بعد العاقبة التي نتوجه إليها.

لكن هناك شيئًا واحدًا علينا أن نلاحظه: خلا الأمر نوعًا ما من الأحداث المهمة عندما أنجز الإمبراطور والمخترع النصف الأول من رقعة الشطرنج، وبعد اثنين وثلاثين مربعًا، كان الإمبراطور قد منح المخترع ٤ مليار حبة من الأرز، وهي كمية معقولة تساوي حقلًا كبيرًا تقريبًا، وعندئذ بدأ الإمبراطور يدرك الأمر.

لكن كان لا يزال في استطاعة الإمبراطور أن يظل إمبراطورًا، وكان في استطاعة المخترع أن يحتفظ برأسه، فعندما توجها إلى النصف الثاني من رقعة الشطرنج كان أحدهما على الأقل قد وقع في مشكلة.

إذن فأين نحن الآن؟ كان هناك نحو اثنين وثلاثين عملية مضاعفة في السرعة والسعة منذ صناعة أول كمبيوتر في الأربعينيات، وموقفنا الآن هو أننا قد انتهينا من النصف الأول من رقعة الشطرنج، وبالفعل بدأ الناس ينتبهون للأمر. والآن ونحن نتوجه إلى القرن التالي، فإننا نتوجه إلى النصف الثاني من رقعة الشطرنج، وهنا تبدأ الإثارة.

---

**حسنًا، دعني أوضح الأمر، إن حملى كبويضة مخصبة يشبه الانفجار الكبير للكون، أي أن الأشياء حدثت في البداية بسرعة كبيرة، ثم تباطأت نوعًا ما، والآن أصبحت بطيئة جدًّا.**

تلك طريقة مناسبة للتعبير عن الأمر، فالفترة الزمنية الآن بين نقاط التحول أطول بكثير مما كانت عليه عندما كنت طفلة صغيرة، ناهيك عن سرعة التطور عندما كنت جنينًا.

**أنت أشرت إلى أن الكون شهد ثلاث طفرات في الجزء الأول من المليار من الثانية، فهل كانت الأمور بمثل هذه السرعة عندما بدأت حياتي؟**

لم تكن بهذه السرعة، لقد بدأ الكون كنقطة وحيدة لا تشغل حيزًا ولا تحتوي على شيء، ومن ثم لم يكن هناك أي شواش، لذلك فإن أول الأحداث الكبرى وهو خلق الكون لم يستغرق وقتًا على الإطلاق، وعندما كان الكون لايزال بالغ الصغر، كانت الأحداث تتطور بسرعة كبيرة. أما نحن فلم نبدأ كنقطة وحيدة، بل على هيئة خلية معقدة، ولهذه الخلية نظام، لكن هناك كثيرًا من النشاط العشوائي داخلها مقارنة بالنقطة الوحيدة في الفضاء، لذلك فإن أول الأحداث الكبرى لنا ككائنات حية — وهو أول انقسام ميتوزي لبويضتنا الملقحة — يستغرق ساعات، وليس أجزاء من التريليون من الثانية، ومن هنا تبدأ الأحداث في التباطؤ.

**لكنني أشعر أن الزمن يتسارع، فلا شك أن السنوات تمر الآن أسرع مما كنت عليه عندما كنت طفلة، ألا ترى أن ما تقوله يناقض الواقع؟**

نعم، فالتجربة الذاتية نقيض الواقع المجرد.

**بالطبع، لماذا لم أفكر في ذلك؟**

دعيني أوضح ما أعنيه؛ الواقع المجرد هو الواقع الذي يراه المراقب الخارجي، فإذا راقبنا نمو الفرد، فسوف نرى أن الأحداث البارزة تقع بسرعة كبيرة في البداية، لكن الفترات الفاصلة بين نقاط التحول تتسع بعد ذلك أكثر فأكثر، لذلك نقول إن الزمن يتباطأ. غير

أن التجربة الذاتية هي الشعور بالعملية نفسها بافتراض أنها عملية واعية، وهي كذلك في حالتك، أو هذا ما أراه أنا على الأقل.

**أشكرك.**

من الناحية الذاتية، يتأثر إدراكنا للزمن بالفترات الفاصلة بين نقاط التحول.

**نقاط التحول؟**

نعم، مثل نمو الجسم والمخ.

**والميلاد؟**

بالتأكيد، هذا من نقاط التحول. ثم تعلم الوقوف، والسير، والكلام ...

**حسنًا.**

يمكننا اعتبار وحدة الزمن الذاتية مساوية للزمن الذي يفصل بين اثنتين من نقاط التحول، وحيث إن نقاط التحول لدينا تزداد تباعدًا مع تقدمنا في العمر، فسوف تكون وحدة الزمن الذاتية أكبر في حالة الشخص البالغ منها في حالة الطفل. من هنا يأتي الشعور بأن الزمن يزداد تسارعًا مع تقدمنا في العمر، أي أن فترة زمنية طولها بضع سنوات لدى الشخص البالغ قد تبدو وكأنها بضعة أشهر بالنسبة لطفل صغير، وهكذا فإن الفترة الزمنية الطويلة لدى البالغ والفترة الزمنية القصيرة لدى الطفل تمثلان نفس الزمن الواقعي من حيث مرور الأحداث البارزة، وبالطبع تمثل الفترات الطويلة والقصيرة أيضًا أجزاء متماثلة من الحياة الماضية لكل منهما.

**هل يفسر ذلك إذن لماذا يمر الزمن بسرعة أكبر عندما أمر بأوقات طيبة؟**

حسنًا، ربما يرتبط ذلك بإحدى الظواهر؛ إذا مر شخص ما بتجربة يقع فيها كثير من الأحداث المهمة، فقد يشعر كما لو كانت قد استغرقت فترة زمنية أطول من فترة أكثر هدوءًا، فنحن نقيس الزمن الذاتي من ناحية التجارب البارزة.

**الآن لو أنني رأيتُ أن الزمن يتسارع بينما هو يتباطأ في الواقع، فإن التطور حينئذ قد يجد من المنظور الذاتي أن الزمن يتباطأ بينما هو في الواقع يتسارع. هل فهمتُ ذلك فهمًا صحيحًا؟**

نعم، لو أن التطور كان واعيًا.

**حسنًا، هل هو كذلك؟**

ليست هناك طريقة لمعرفة ذلك في الحقيقة، لكن تباطؤ التطور وتسارعه يسير في الاتجاه العكسي لكائنات نعتبرها بصورة عامة واعية، مثل البشر، أي أن التطور يبدأ سريعًا ثم يتباطأ، غير أن الكون له زمن تباطؤ وتسارع يسير في نفس الاتجاه مثلنا نحن الكائنات الحية، لذلك قد يكون من الأصوب القول بأن الكون واع، والواقع أن ذلك يلقى بعض الضوء على ما حدث قبل الانفجار الكبير.

**كنت أفكر في ذلك الآن.**

عندما نعود بالزمن إلى الماضي ونقترب أكثر من حادث الانفجار الكبير، يتقلص الشواش إلى الصفر، لذلك يتمدد الزمن من المنظور الذاتي، بل إننا كلما توغلنا في الماضي واقتربنا من الانفجار الكبير، يقترب الزمن الذاتي من اللانهاية، لذلك ليس من الممكن التوغل في الماضي أبعد من نقطة اللانهاية من المنظور الذاتي.

**لقد أرحتَ عقلي، لقد قلت الآن إن التقدم الأسي لعملية تطورية يستمر إلى الأبد، أليست هناك طريقة ما لإيقافه؟**

لن يوقفه إلا كارثة تفني العملية بكاملها.

**مثل حرب نووية شاملة؟**

هذا أحد السيناريوهات، لكن في القرن المقبل سوف نواجه مزيدًا من «أشكال الإخفاق»، وسوف نتحدث عن ذلك في الفصول التالية.

**كم أتوق إلى ذلك. الآن أخبرني ما علاقة قانون العائدات المتسارعة بالقرن الحادي والعشرين؟**

التغيرات الأسية قوية إلى أبعد الحدود لكنها مضللة، فهي تتلكأ دهورًا ولا تحدث إلا تأثيرًا بالغ الضآلة، لكنها ما إن تصل إلى «نقطة انقلاب المنحنى»، فإنها تنفجر انفجارًا هائلًا. وفي مجال تكنولوجيا الكمبيوتر وأثرها في المجتمع الإنساني، فإن هذه النقطة تقترب مع الألفية الجديدة. والآن لدى سؤال لك.

**اطرحه.**

من أنت؟

**أنا القارئة.**

حسنًا إنه لأمر جيد أن تكون لك مشاركة في هذا الكتاب بينما لا يزال هناك وقت للتصرف فيه.

**أنا ممتنة لذلك. والآن أنت لم تعط نهاية أبدًا لقصة الإمبراطور، فهل فقد الإمبراطور إمبراطوريته، أم فقد المخترع حياته؟**

لدى نهايتان، فلا أستطيع أن أحدد أيهما هي النهاية الصحيحة.

**ربما وصلا إلى حل وسط، لعل المخترع رحب بقبول مجرد إقليم من الصين مثلًا.**

نعم، ستكون تلك نتيجة جيدة، وربما تكون حكاية رمزية أفضل للقرن الحادي والعشرين.

الفصل الثاني

# ذكاء التطور

ها هو سؤال آخر مهم لفهم القرن الحادي والعشرين: هل يمكن لذكاء أن يبتكر ذكاء آخر أكثر ذكاءً منه؟

دعنا أولًا نفكر في العملية الذكية التي أوجدتنا: التطور.

التطور مبرمِج بارع كان إنتاجه وفيرًا بتصميمه لملايين الأنواع ذات التنوع والبراعة الباهرة، وهذا فقط هنا على كوكب الأرض. لقد كتبت كل البرامج، وسجلت كبيانات رقمية في التركيب الكيميائي لجزيء عبقري التصميم يسمى الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين، أو الدي إن إيه DNA. أول من وصف الدي إن إيه هو جي. دي. واطسون J. D. Watson و إف. إتش. سي. كريك F. H. C. Crick عام ١٩٥٣ باعتباره حلزونًا مزدوجًا يتكون من شريطين ملتفين من عديد النوكليوتيد مع وحدتين من المعلومات مشفرتين في طرفي كل درجة من درجات السلم الحلزوني، تم تشفيرها باختيار تتابع النوكليوتيدات.[١] وهذه ذاكرة «قراءة فقط» تتحكم في الآلية الهائلة للحياة.

يتكون جزيء الدي إن إيه من ما بين بضع عشرات وبضع ملايين من درجات السلم، ويدعمه عمود فقري من السكر والفوسفات، وكل درجة من درجاته مشفرة بحرف نوكليوتيد واحد مأخوذ من أبجدية من أربعة أحرف للأزواج القاعدية (أدينين–ثايمين، وثايمين–أدينين، وسيتوزين–جوانين، وجوانين–سيتوزين)، والدي إن إيه البشري جزيء طويل قد يصل طوله إلى ستة أقدام إذا جرى مده، لكنه متجمع في ملف معقد يبلغ قطره ١ / ٢٥٠٠ من البوصة.

تتكون آلية نسخ الدي إن إيه من آلات أخرى خاصة: جزيئات عضوية تسمى إنزيمات تشطر كل زوج من القواعد النيتروجينية، ومن ثم تجمع جزيئين متماثلين من

الدي إن إيه بالاعتماد على القواعد الحرة، وتتولى آلات كيميائية صغيرة أخرى التأكد من صحة النسخة بمراجعة صحة ترابط أزواج القواعد النيتروجينية، ونسبة الخطأ في هذه العمليات الكيميائية تبلغ نحو خطأ واحد لكل مليار قاعدة نيتروجينية، وهناك الكثير من الشفرات المكررة وشفرات تصحيح الأخطاء مدمجة في البيانات نفسها، لذلك فإن الأخطاء الكبيرة نادرة. تحدث بعض الأخطاء في هذه العملية، ويسبب معظمها عيوبًا في خلية واحدة، وقد تؤدي الأخطاء في خلية جنينية مبكرة إلى عيوب خلقية لدى الكائن الحي حديث الولادة، وفي أحوال نادرة جدًّا توفر مثل هذه العيوب ميزة ما، وقد ينتهي الأمر بهذه الشفرة الجديدة إلى أن تصبح مفضلة من خلال تحسين ظروف بقاء هذا الكائن الحي وذريته.

تتحكم شفرة الدي إن إيه في التفاصيل الأساسية لتركيب كل خلية من خلايا الكائن الحي، بما في ذلك شكل الخلية والعمليات التي تقوم بها، بالإضافة إلى تركيب الأعضاء التي تتألف منها، وفي عملية تسمى الترجمة تقوم إنزيمات أخرى بترجمة المعلومات المشفرة في الدي إن إيه إلى بروتينات، وتلك البروتينات هي التي تحدد البنية، والسلوك، والذكاء في كل خلية، وفي الكائن الحي.[٢]

هذه الآلية الكمبيوترية شديدة التعقيد، لكنها في نفس الوقت بسيطة بصورة مذهلة؛ فأربعة أزواج من القواعد فقط هي التي تستخدم في تخزين بيانات جميع الصفات المعقدة للملايين من أشكال الحياة على الأرض، من البكتيريا البدائية إلى الكائنات البشرية. تقرأ الريبوسومات الشفرة وتبني البروتينات من عشرين حمضًا أمينيًّا فقط، وتحتوي هذه الشفرة على بيانات تتعلق بالحركة المتزامنة للألياف العضلية، والتفاعلات الكيميائية المعقدة في دمنا، وتركيب المخ ووظائفه، وغير ذلك من الوظائف المختلفة للكائنات الأرضية.

والجهاز الجيني لمعالجة المعلومات برهان على وجود الهندسة النانوية nanoengineering (صناعة الآلات ذرة بذرة)، لأن آلية الحياة تحدث بالفعل على المستوى الذري، وتقوم وحدات بالغة الصغر من الجزيئات مكونة من عشرات الذرات فحسب بتشفير كل بت، وتتولى عمليات النسخ ورصد الأخطاء والتصحيح. ويجري البناء الفعلي للمادة العضوية ذرة بذرة ببناء سلاسل الحمض الأميني.

هذا هو فهمنا لتركيب ماكينة الحوسبة التي تمثل القوة الدافعة للحياة على الأرض، غير أننا لا نزال في بداية حل غموض البرمجيات، وفي حين يتسم التطور بوفرة الإنتاج فإنه يعد مبرمجًا تنقصه الدقة، فقد ترك لنا كودًا بلغة الآلة (مليارات البتات من البيانات المشفرة)، لكن ليس هناك كود مصدر ذو مستوى أعلى (عبارات بلغة نستطيع فهمها)،

وليست هناك تعليقات تفسيرية أو ملف «مساعدة» أو وثائق أو كتيب إرشادي للمستخدم. ومن خلال مشروع الجينوم البشري، نحن بصدد كتابة شفرة من ٦ مليارات بت للشفرة الوراثية البشرية، وحل شفرة آلاف من الأحياء الأخرى أيضًا.[٢] لكن الهندسة العكسية reverse engineering لشفرة الجينوم — لفهم كيفية عملها — عملية بطيئة وشاقة لا نزال في بدايتها، لكننا إذ نفعل ذلك نتعلم أساس معالجة معلومات المرض والبلوغ والشيخوخة، ونحصل على وسائل لتصحيح وتنقيح ابتكار التطور الذي لم يكتمل بعد.

بالإضافة لافتقار التطور للتوثيق، فإنه أيضًا مبرمِج تعوزه الكفاءة، فالجزء الأعظم من الشفرة — ٩٧ بالمائة حسب التقديرات الراهنة — لا يدخل في الحسبان، أي أن أغلب التتابعات لا تنتج بروتينات وتبدو عديمة الفائدة، ويعني هذا أن الجزء الفعال من الكود يمثل نحو ٢٣ ميجابايت فقط، وهو أقل من شفرة ميكروسوفت وورد Microsoft Word، كما أن الكود يعج بالحشو، فهناك على سبيل المثال تتابع يبدو بلا معنى يطلق عليه Alu يتكون من ٣٠٠ نوكليوتيد، ويتكرر ٣٠٠ ألف مرة في الجينوم البشري، ويمثل أكثر من ٣ بالمائة من برنامجنا الوراثي.

تقول نظرية التطور إن تغيرات البرمجة يجري إدخالها أساسًا بصورة عشوائية، ويجري تقييم التغيرات من أجل الاحتفاظ بها من حيث بقاء الكائن الحي وقدرته على التكاثر، غير أن البرنامج الوراثي لا يتحكم فقط في الصفة الوحيدة التي تجري «تجربتها»، ولكن في ملايين الصفات الأخرى أيضًا، ويبدو بقاء الأصلح تقنية بسيطة قادرة على التركيز على صفة واحدة أو بضع صفات على الأكثر في نفس الوقت، وحيث إن الغالبية العظمى من التغيرات تجعل الأمور أسوأ، قد يبدو من المثير للدهشة أن هذه التقنية ناجحة بحال من الأحوال.

يتناقض هذا مع الأسلوب الإنساني التقليدي لبرمجة الكمبيوتر حيث يجري تصميم التغيرات للوصول إلى هدف معين، وقد يتم إدخال عدة تغييرات في نفس الوقت، واختبار التغييرات التي أجريت بالتركيز على كل تغيير على حدة بدلًا من بقاء البرنامج ككل، لو أننا حاولنا تحسين برامج الكمبيوتر بالطريقة التي يبدو أن التطور يحسن بها مخططه، لانهارت برامجنا من زيادة العشوائية.

من اللافت للنظر أنه مع التركيز على تطوير واحد كل مرة، صُممت تراكيب معقدة مثل عين الإنسان، وقد افترض بعض المراقبين أن مثل هذا التصميم المعقد يستحيل الوصول إليه بطريقة التطوير التدريجي التي يستخدمها التطور، فالتصميم المعقد مثل العين أو القلب يبدو أنه يحتاج منهجًا في التصميم يقوم على إنجاز التصميم دفعة واحدة.

غير أن حقيقة أن تصميمات مثل تصميم العين لها جوانب كثيرة يتأثر بعضها ببعض لا ينفي إمكانية ابتكارها من خلال مسار تصميم يقوم على تطوير واحد كل مرة. يخضع الجنين البشري في الرحم لعملية تطور، لكن افتراض أن ذلك نتيجة طبيعية لمراحل تطور أدت إلى ظهور نوعنا الإنساني لم تجمع عليه الآراء، ومع ذلك يتعلم معظم دارسي الطب أن تطور الكائن الحي (تطور الجنين) يلخص تطور النوع (تطور مجموعة كائنات حية ذات علاقة وراثية، مثل الشعبة)، ويبدو أننا نبدأ في الرحم ونحن نشبه أجنة الأسماك، ثم نتطور إلى البرمائيات، ثم الثدييات، وهكذا دواليك. وبصرف النظر عن الجدل الثائر حول تطور النوع، فإننا نستطيع أن نرى في تاريخ التطور مسودات المخطط الذي سار عليه التطور بتصميم آليات تبدو «كاملة» مثل العين البشرية، ومع أن التطور يركز على مسألة واحدة في كل مرة، فإنه قادر بالفعل على ابتكار تصميمات باهرة ذات مكونات كثيرة يتفاعل بعضها مع بعض.

غير أن هناك عائقًا يقف أمام أسلوب التصميم بالزيادة التدريجية: إنه لا يستطيع القيام بإعادة تصميمات كاملة، فهو على سبيل المثال لا يستطيع الفرار من السرعة شديدة البطء للحوسبة في الخلايا العصبية لدى الثدييات، لكن هناك طريقًا للالتفاف حول ذلك، كما سنكتشف في الفصل السادس «بناء الأمخاخ.»

## تطور التطور

هناك أيضًا طرق معينة يطور بها التطور وسائله الخاصة للتطور، ومن الواضح أن التشفير القائم على الدي إن إيه هو إحدى هذه الوسائل، وفي نظام التشفير ظهرت وسائل أخرى، فبعض عناصر التصميم مثل شكل العين جرى تشفيرها بطريقة تقلل احتمال حدوث الطفرات، وآليات رصد الخطأ والتصحيح المدمجة في نظام التشفير القائم على الدي إن إيه تجعل التغيير في هذه المنطقة مستبعدًا. ظهر هذا التدعيم لسلامة التصميم بالنسبة لصفات مهمة محددة لأن هذه الصفات توفر ميزة، والتغيرات في هذه الصفات تكون عادة ذات عواقب وخيمة، وعناصر تصميم أخرى مثل عدد ونظام القضبان والمخروطات الحساسة للضوء في شبكية العين تتلقى تدعيمات أقل مدمجة في الشفرة. إذا فحصنا السجل التطوري، سنرى تغيرات في مخطط الشبكية أحدث من التغيرات في شكل مقلة العين نفسها، لذلك تطورت استراتيجيات التطور بوسائل معينة، ويقول قانون العائدات

المتسارعة إن هذا ما يجب أن يحدث، لأن تطوير الاستراتيجيات الخاصة هو الوسيلة الأساسية التي تبني بها العملية التطورية نفسها.

بمحاكاة التطور، يمكننا أيضًا إثبات قدرة عملية تصميم التطور بنظام «خطوة واحدة كل مرة» على بناء مخططات عبقرية من عدة عناصر متفاعلة، أحد الأمثلة هو برنامج محاكاة تطور أشكال الحياة الذي يطلق عليه شبكة تييرا Network Tierra والذي صممه توماس راي Thomas Ray عالم الأحياء وخبير الغابات المطيرة.[٤] «مخلوقات» راي هي برمجيات محاكاة لكائنات حية حيث كل «خلية» لها شفرتها الجينية المشابهة للدي إن إيه، وتتنافس الكائنات مع بعضها البعض حول المكان المحدود ومصادر الطاقة المحدودة في بيئتها المصطنعة.

أحد الجوانب الفذة في هذا العالم المصطنع أن لهذه الكائنات سيطرة مطلقة على ١٥٠ كمبيوترًا على الإنترنت، مثل «جزر في أرخبيل» على حد وصف راي. أحد أهداف هذا البحث هو فهم كيف حدثت الزيادة الهائلة في تصميمات الجسم المختلفة على الأرض خلال العصر الكامبري منذ نحو ٥٧٠ مليون سنة. «تتبع مسار التطور متعة كبيرة»، هكذا يعلن راي بحماس وهو يراقب تطور مخلوقاته من كائنات وحيدة الخلية غير متخصصة إلى كائنات عديدة الخلايا مع زيادات متواضعة على الأقل في التنوع، ويقال إن راي تعرف على نظير الطفيليات والمناعة والتفاعل الاجتماعي الأولي، وأحد العيوب المعروفة لمحاكاة راي هو الافتقار إلى التعقيد في بيئته المصطنعة، وأحد المفاهيم البارزة في بحثه هو الحاجة إلى بيئة شواش مناسبة كمصدر حيوي لدفع حركة التطور إلى الأمام، وهو مورد متوفر في العالم الواقعي.

أحد التطبيقات العملية للتطور هو مجال الخوارزميات التطورية، حيث تتنافس ملايين من برامج الكمبيوتر بعضها مع بعض في عملية محاكاة التطور، وبذلك تسيطر على الذكاء الكامن في التطور لحل مشكلات العالم الواقعي، وحيث إن ذكاء التطور ضعيف، فإننا نركزه ونضخمه بنفس طريقة العدسات في تركيز أشعة الشمس المتفرقة. وسوف نتحدث بالتفصيل عن هذا المنهج الفعال في تصميم البرمجيات في الفصل الرابع، وعنوانه «نوع جديد من الذكاء على الأرض.»

## مُعامل ذكاء التطور

دعنا في البداية نشيد بالتطور، فقد ابتكر فيضًا من المخططات التي تتميز بجمال وتعقيد ودقة تفوق الوصف، إلى جانب الفعالية، بل إن بعض نظريات علم الجمال تعرِّف الجمال على أنه مدى النجاح في محاكاة الجمال الطبيعي الذي خلقه التطور، فقد أبدع الكائنات البشرية بعقولها البشرية الذكية، وهي كائنات لها من الذكاء مايكفي لابتكار تكنولوجيتها الخاصة الذكية.

يبدو ذكاء التطور هائلًا، أليس كذلك؟ إن له عيبًا واحدًا ـ التطور بطيء جدًّا، صحيح أنه ابتكر بعض المخططات الرائعة، إلا أنه استغرق فترات زمنية بالغة الطول للقيام بذلك، فقد استغرق دهورًا لمجرد أن تبدأ العملية، واستغرق ظهور أشكال الحياة مليارات السنوات، واستغرق أسلافنا أيضًا دهورًا لكي يبدأ ابتكارهم للتكنولوجيا، لكن بالنسبة إلينا فإن الدهور تعني فقط عشرات الآلاف من السنين، إنه تحسن واضح.

هل يرتبط الزمن المطلوب لحل مشكلة ما أو ابتكار تصميم ذكي ارتباطًا مباشرًا بقياس الذكاء؟ يبدو أن مبتكري اختبارات معامل الذكاء البشري يظنون ذلك، وهذا هو السبب في أن لأغلب اختبارات معامل الذكاء زمنًا محددًا، فنحن نرى أن حل مسألة ما في بضع ثوان أفضل من حلها في بضع ساعات أو سنوات، ومن وقت إلى آخر يثير عنصر الوقت في اختبارات معامل الذكاء جدالًا، ولا أرى سببًا لذلك، فسرعة عملية ذكية هو عنصر صحيح من عناصر تقييمها، لو أنني رأيت فجأة حيوانًا ضخمًا شبيهًا بالقط يجثم في وضع تحفز على غصن شجرة، فإن رسم خطة للمراوغة في ثانية أو ثانيتين أفضل من بحث الموقف لعدة ساعات، ولو طلبت منك رئيستك في العمل تصميم برنامج تسويقي، فالأرجح أنها لا ترغب في أن تنتظر مائة عام، وقد طلبت مني دار فايكنج بنجوين للنشر أن يصلها هذا الكتاب قبل نهاية الألفية الثانية، وليس الثالثة.[٥]

لقد حقق التطور إنجازًا مذهلًا في التصميم، لكنه استغرق أيضًا زمنًا هائلًا لتحقيق ذلك، ولو أننا قسنا إنجازاته على أساس سرعته شديدة البطء، فأظن أننا سوف نتوصل إلى أن معامل ذكائه لا يزيد عن الصفر إلا بمقدار متناه في الصغر، ومعامل الذكاء الذي لا يزيد إلا قليلًا عن الصفر يكفي التطور لكي يتغلب على الإنتروبيا ويبتكر مخططات مدهشة لو أُتيح له الوقت الكافي مثلما سمح التفاوت بالغ الضآلة في التوازن بين المادة والمادة المضادة بأن تتجاوز المادة نقيضها تمامًا.

بذلك فإن التطور لا يزيد ذكاءً عن السلوك الذي ينقصه الذكاء بالكامل إلا بمقدار ضئيل، وتظهر فعالية الخوارزميات التطورية التي صنعها الإنسان في أنها تزيد من سرعة

الزمن مليون أو مليار مرة، لتركيز وتوجيه قوتها، وإلا ظلت مشتتة، وذكاء البشر على النقيض أكبر بكثير من أن يكون أكثر قليلًا من الغباء التام (بالطبع، قد يختلف رأيك تبعًا لآخر التقارير الإخبارية).

## نهاية الكون

ماذا يقول قانون الزمن والشواش عن نهاية الكون؟

تقول إحدى النظريات إن الكون سوف يستمر في التمدد إلى الأبد، وتقول نظرية أخرى إنه في وجود مادة كافية فإن قوة جاذبية الكون نفسه سوف توقف التمدد، وتؤدي في النهاية إلى «انسحاق كبير»، إلا إذا كان هناك بالطبع قوة مضادة للجاذبية، أو إذا كان «الثابت الكوني» — «العامل الملفق» لأينشتاين — كبيرًا بما يكفي. اضطررت لإعادة كتابة هذه الفقرة ثلاث مرات خلال الأشهر الماضية لأن علماء الفيزياء لا يستطيعون حسم موقفهم، ويبدو أن الافتراض الأخير يؤيد التمدد غير المحدد.

أنا أميل شخصيًّا إلى فكرة أن الكون ينطوي مرة أخرى على نفسه باعتبارها مُرضية أكثر من الناحية الجمالية، ويعني هذا أن الكون سوف يعكس تمدده ويعود من جديد نقطة وحيدة. يمكننا افتراض أنه سوف يتمدد مرة أخرى ثم يتقلص في دورة لا تنتهي، فيبدو أن معظم الأشياء في الكون تتحرك في دورات، فلماذا لا يفعل الكون نفس الشيء؟ لذلك يمكن النظر إلى الكون باعتباره جسيمًا بالغ الصغر في كون آخر كبير، وقد يكون ذلك الكون الكبير نفسه جسيمًا يتذبذب في كون آخر أكبر أيضًا، وبالعكس، فإن الجسيمات بالغة الصغر في كوننا يمكن النظر إليها على أنها أكوان صغيرة، وأن ذبذباتها التي تستغرق أجزاءً من التريليون من الثانية في زمننا تمثل مليارات السنوات من التمدد والتقلص في ذلك الكون الصغير، وكل جسيم في هذا الكون الصغير يمكن أن ... حسنًا لقد تملكني الحماس.

## كيف نعيد كوبًا مكسورًا إلى حالته

دعنا نقل إن الكون يعكس تمدده، فيكون لطور التقلص الصفات العكسية لطور التمدد الذي نعيش فيه الآن، ومن الواضح أن الشواش في الكون سوف ينقص كلما أصبح الكون أصغر، أستطيع التأكد من صحة ذلك بالتفكير في نقطة النهاية، التي هي مرة أخرى نقطة وحيدة دون حجم، وبالتالي دون فوضى.

نحن ننظر إلى الزمن باعتباره يتحرك في اتجاه واحد لأن العمليات تحدث في الزمن وهي بصورة عامة غير قابلة للانعكاس. إذا كسرنا كوبًا، سنجد أن من الصعب إعادته إلى حالته السابقة، وسبب ذلك يتعلق بالقانون الثاني للديناميكا الحرارية، وحيث إن الإنتروبيا الكلية قد تزداد لكنها لا تنقص أبدًا، فإن للزمن اتجاهًا، يزيد الكوب من العشوائية، وتخرق إعادة الكوب إلى حالته القانون الثاني للديناميكا الحرارية، ومع ذلك ففي طور تقلص الكون ينخفض الشواش، لذلك نستطيع أن نقول إن اتجاه الزمن ينعكس.

يعكس ذلك كل العمليات في الزمن، ويجعل التطور تراجعًا، ويتحرك الزمن إلى الوراء خلال النصف الثاني من عمر الكون، لذلك فإنك إذا كسرت كوبًا مفضلًا، حاول أن تفعل ذلك ونحن نقترب من نقطة منتصف عمر الكون، ستجد أن الكوب يتجمع من تلقاء نفسه عندما نعبر إلى طور تقلص الكون.

والآن إذا كان الزمن يتحرك إلى الخلف خلال طور التقلص، فإن ما نراه (نحن الذين نحيا في طور تمدد للكون) كانسحاق كبير هو بالفعل انفجار كبير بالنسبة لكائنات تعيش (في زمن عكسي) خلال طور التقلص. تأمل منظور كائنات الزمن المعكوس هذه التي تعيش فيما نراه طور تقلص للكون، فمن منظورها ما نراه طورًا ثانيًا هو بالفعل أول طور بالنسبة إليها مع حركة الزمن في الاتجاه العكسي، والكون — من منظورها — يتمدد خلال هذا الطور ولا يتقلص، وبذلك لو أن نظرية «سوف يتقلص الكون في النهاية» صحيحة، فقد يكون من الملائم القول بأن الكون محدود في الزمن بانفجارين كبيرين، والأحداث تتحرك في اتجاهين متضادين في الزمن بعد كل انفجار كبير، وتلتقي في المنتصف، ويمكن للكائنات التي تعيش في كلا الطورين أن تقول إنها في

النصف الأول من تاريخ الكون، حيث يبدو كلا الطورين كما لو كانا النصف الأول بالنسبة للكائنات في هذين الطورين. وفي نصفي عمر الكون كليهما فإن قوانين الإنتروبيا، والزمن والشواش، والعائدات المتسارعة (في حالة تطبيقها على التطور) تكون كلها صحيحة، ولكن مع حركة الزمن في اتجاهين متضادين.[٦]

## نهاية الزمن

ماذا لو أن الكون يتمدد إلى ما لا نهاية؟ يعني هذا أن النجوم والمجرات سوف تستنفد في النهاية طاقتها، تاركة كونًا من النجوم الهامدة يتمدد إلى ما لا نهاية، وسوف يؤدي ذلك إلى فوضى هائلة ــ كثير من العشوائية ــ دون نظام معين، لذلك فسوف يتوقف الزمن تدريجيًّا وفقًا لقانون الزمن والشواش. وبالمثل لو أن الكون الهامد يعني أنه لن تكون هناك كائنات واعية لتعرف قيمته، فإن كلًّا من ميكانيكا الكم ووجهة النظر الذاتية الشرقية[٧] تتضمن فيما يبدو أن الكون سيتوقف عن الوجود.

وكلا الاستنتاجين ــ في نظري ــ ليسا صحيحين تمامًا، وسوف أعرض عليك في نهاية هذا الكتاب منظوري حول ما سيحدث في نهاية الكون، لكن لا تتعجل.

فكر في تعقد ابتكاراتنا خلال فترة زمنية لا تتجاوز بضعة آلاف من السنين، في النهاية سوف تنافس آلاتنا الذكاء الإنساني وتتفوق عليه، بصرف النظر عن تعريف أو قياس هذه الكلمة المحيرة.

وحتى لو كانت تقديراتي الزمنية خاطئة، فإن معظم المراقبين الجادين الذين درسوا الموضوع يرون أن الكمبيوترات سوف تصل إلى الذكاء الإنساني وتتفوق عليه، وبذلك يكون البشر قد تفوقوا على التطور تفوقًا كبيرًا محققين في آلاف السنين فقط ما حققه التطور في مليارات السنين.

لذلك فإن الذكاء الإنساني ــ وهو نتاج التطور ــ أكثر ذكاء بكثير من مبتكره.

وأيضًا سوف يتجاوز الذكاء الذي ابتكرناه ذكاء من ابتكره. ليس هذا هو الوضع حاليًّا، ولكن كما سيرد في بقية هذا الكتاب فسوف يحدث ذلك في القريب العاجل ــ سواء بمقياس التطور أو بمقياس تاريخ البشر ــ في حياة معظم قراء هذا الكتاب.

يتنبأ بذلك قانون العائدات المتسارعة، ويتنبأ فضلًا عن ذلك بأن التقدم في قدرات الآلات التي ابتكرها البشر سوف يواصل التسارع، وابتكار الجنس البشري للتكنولوجيا الذكية مثال آخر على تقدم التطور بالاعتماد على انجازاته السابقة، فقد ابتكر التطور الذكاء الإنساني، والآن يصمم الذكاء البشري آلات ذكية بسرعة أعلى بكثير، وسوف يكون هناك أيضًا مثال آخر عندما تسيطر تكنولوجيتنا الذكية على ابتكار تكنولوجيا أكثر ذكاء منها هي نفسها.

---

**والآن بخصوص فكرة الزمن هذه، نحن ننشأ كخلية واحدة، أليس كذلك؟**

هذا صحيح.

**ثم نتطور بعد ذلك إلى شيء يشبه السمكة، ثم البرمائيات، وأخيرًا أحد الثدييات ... إلخ، أنت تعرف موجز تطور الكائن الحي من الجنين إلى البالغ *ontogeny***

النشوء النوعي phylogeny، نعم.

**ذلك إذن مثل التطور تمامًا، أليس كذلك؟ نحن نمر بالتطور في رحم أمنا.**

نعم، هذه هي النظرية. كلمة النشوء النوعي phylogeny مشتقة من كلمة الشعبة phylum ...

**لكنك قلت إن الزمن يتسارع في حالة التطور، ومع ذلك فإن الزمن يتباطأ في حياة الكائن الحي.**

نعم، ملحوظة جيدة، سأوضح لك الأمر.

**كلي آذان صاغية.**

يقول قانون الزمن والشواش إنه في عملية ما يتناسب متوسط الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة مع كمية الشواش في العملية، وصحيح أن التطور بدأ بخلية واحدة، ونحن أيضًا نبدأ كخلية واحدة. يبدو الأمر متشابهًا، ولكن من منظور قانون الزمن والشواش، ليس الأمر كذلك. نحن نبدأ كخلية واحدة، وعندما كان التطور في مرحلة الخلية الواحدة، لم يكن خلية واحدة، لكنه كان عدة تريليونات من الخلايا، وكانت هذه الخلايا تدور في حركة دوامية لا غير، وهذا قدر كبير من الشواش وقليل من النظام. كانت الحركة الرئيسية للتطور نحو المزيد من النظام، ومع ذلك ففي تطور الكائن الحي كانت الحركة الرئيسية نحو مزيد من الشواش. يكون لدى الكائن تام النمو فوضى أكثر بكثير مما لدى الخلية

الواحدة التي بدأ منها، ويستمد التطور هذا الشواش من البيئة مع تضاعف خلاياه، وعندما يواجه بيئته. هل هذا واضح؟

**بالتأكيد، لكن لا تختبر معلوماتي حول هذا الأمر. أرى أن الشواش الأكبر في حياتي كان عندما تركت البيت للالتحاق بالكلية، وقد بدأت الأمور تستقر الآن مرة أخرى.**

لم أزعم قط أن قانون الزمن والشواش يفسر كل شيء.

**حسنًا، ولكن فسر لي ما يأتي: لقد قلت إن التطور لم يكن بالغ الذكاء، أو كان على الأقل بطيء الفهم، لكن ألا تستخدم بعض الفيروسات والبكتيريا التطور لتتفوق علينا؟**

يعمل التطور على نطاقات زمنية مختلفة. لو أننا جعلناه يتسارع، فقد يصبح أكثر ذكاءً منا، وتلك هي فكرة البرامج التي تستخدم محاكاة عملية تطورية في حل مشكلات معقدة. ويعد تطور الجراثيم المسببة للمرض مثالًا آخر على قدرة التطور على تضخيم وتركيز قواه المبعثرة. ففي النهاية يمكن لجيل فيروسي أن يظهر في دقائق أو ساعات مقارنة بعقود في حالة الجنس البشري. ومع ذلك أرى أننا في النهاية سوف ننتصر على وسائل التطور لدى الكائنات المسببة للأمراض.

**ربما يكون من المفيد أن نتوقف عن الإفراط في استخدام المضادات الحيوية.**

نعم، ويثير ذلك موضوعًا آخر، وهو ما إذا كان الجنس البشري أكثر ذكاءً من أفراده.

**كجنس، نحن بالتأكيد بارعون في تدمير الذات.**

هذا صحيح في معظم الأحوال. ومع ذلك فإن لدينا حوارًا عميقًا يشمل نوعنا البشري بأكمله، وفي الأنواع الأخرى قد يتصل الأفراد في قبيلة أو جماعة صغيرة، وليس هناك اتصال على نطاق أكبر من ذلك إلا قليلًا، وليس هناك إلا قليل من المعرفة المتراكمة، فقاعدة المعرفة الإنسانية في العلم والتكنولوجيا والفن والثقافة والتاريخ لا مثيل لها لدى أي نوع آخر من الكائنات الحية.

**ماذا عن أغاني الحيتان؟**

هممم، أظن أننا لا نعرف ما يدور حوله غناؤهم.

**وماذا عن تلك القردة التي يمكنك الكلام معها على الإنترنت؟**

حسنًا، في ٢٧ أبريل ١٩٩٨ شاركت الغوريلا كوكو Koko فيما تطلق عليه معلمتها فرانسين باترسون Francine Pattrson أول دردشة ما بين الأنواع، في أمريكا أون لاين America Online.[٨] لكن نقاد كوكو يعلنون أن باترسون هي الذكاء الموجود خلف كوكو.

**لكن الناس استطاعوا الدردشة مع كوكو مباشرة.**

نعم، لكن مهارات كوكو في الكتابة محدودة، لذلك كانت باترسون تترجم لها الأسئلة بلغة الإشارة الأمريكية، التي تراقبها كوكو، ثم ترد باستخدام إشارات تفسرها باترسون من جديد بإجابات مكتوبة. وأظن أن ما يشتبه فيه أن تكون باترسن مثل المترجمين الفوريين في الدوائر الدبلوماسية، فلا يعرف المرء إن كان يتحدث إلى المسئول الدبلوماسي، وهو في هذه الحالة كوكو، أم إلى المترجم.

**أليس من الواضح بصورة عامة أن القردة تتواصل فيما بينها؟ فليس بينهم وبيننا اختلاف كبير من الناحية الوراثية، كما قلت.**

من الواضح أن هناك نوعًا من التواصل بينها، والمسألة التي يبحثها خبراء اللغة هي ما إذا كانت القردة تستطيع بالفعل التعامل مع مستويات الرموز التي تتضمنها اللغة الإنسانية. أعتقد أن الدكتورة إميلي سافيج-رامبو Emily Savage-Rumbaugh بجامعة جورجيا التي تدير مختبرًا لتواصل القردة مساحته خمسة وخمسون فدانًا؛ قد قدمت منذ وقت قريب تصريحًا مناسبًا عندما قالت: «إنهم (نقادها) يطلبون من كانزي Kanzi (أحد القردة موضوع الدراسة لديها) فعل كل ما يفعله الإنسان، وهو أمر خادع، فهو لن يفعل ذلك أبدًا. لكن هذا لا ما ينفي ما يمكنه عمله.»

**حسنًا، أنا أشجع القردة.**

نعم، سيكون لطيفًا أن نجد من نتحدث معه عندما نسأم من البشر.

**إذن لماذا لا تتحدث مع كمبيوترك؟**

أنا أتحدث مع كمبيوتري، وهو يدون ما أقوله له، وأستطيع أن أوجه الأوامر باللغة الطبيعية لمايكروسفت وورد Microsoft Word،[1] لكنه ليس محدثًا رائعًا. تذكري أن الكمبيوترات ما تزال أقل مليون مرة من المخ البشري، لذلك فالأمر يحتاج إلى عقدين تقريبًا حتى يصبح الكمبيوتر رفيقًا مريحًا.

**لنعد إلى موضوع ذكاء الفرد بالمقارنة بذكاء الجماعة، ألا تنسب معظم الإنجازات في الفن والعلم إلى أفراد؟ وأنت تعرف أن كتابة أغنية أو رسم صورة نشاط فردي.**

كثير من العلوم والتكنولوجيات الهامة تقوم بها جماعات كبيرة.

**لكن أليست الطفرات الحقيقية هي التي يقوم بها أفراد؟**

في حالات كثيرة يكون هذا صحيحًا، وحتى في هذه الحالة فإن نقاد التكنولوجيا والمحافظين ــ حتى المتعصبين من بينهم ــ يلعبون دورًا مهمًّا في الغربلة، فليست كل فكرة جديدة ومختلفة تستحق السعي، ومن المفيد أن يكون أمامها بعض الحواجز لتجتازها. وبصورة عامة فإن جرأة الإنسان قادرة بوضوح على القيام بإنجازات تتجاوز كثيرًا ما يمكننا أن نقوم به كأفراد.

**ماذا عن ذكاء الغوغاء؟**

أظن أن ذكاء مجموعة ما لا يزيد دائمًا عن ذكاء أفرادها.

**حسنًا، أتمنى ألا يظهر على آلات القرن الحادي والعشرين هذه سلوكيات الرعاع.**

فكرة جيدة.

**أعنى، لا أريد أن ينتهي بي الأمر في زقاق مظلم مع عصابة من آلات تتعذر السيطرة عليها.**

يجب أن نضع ذلك نصب أعيننا عندما نصمم آلاتنا في المستقبل. سوف أسجل ملحوظة بذلك ...

**نعم، خصوصًا قبل أن تبدأ الآلات ــ كما قلت ــ في تصميم نفسها.**



الفصل الثالث

# حول العقل والآلات

## تجارب فلسفية فكرية

«أنا وحيد وأشعر بالملل، أرجوك ابق بصحبتي.»

لو أن جهاز الكمبيوتر لديك عرض هذه الرسالة على الشاشة، هل يقنعك ذلك بأن كمبيوترك الخاص لديه وعي ومشاعر؟

بالطبع لا، فهو أمر يسير أن يعرض برنامج مثل هذه الرسالة، ومصدر الرسالة على الأرجح هو المبتكر البشري للبرنامج الذي يحتوي على الرسالة. الكمبيوتر مجرد وسيلة لنقل للرسالة مثل الكتاب.

افترض أننا أضفنا إلى البرنامج القدرة على توليد الكلام، وجعلنا الكمبيوتر يتكلم برسالته المعبرة عن الحزن، فهل غيرنا شيئًا؟ مع أننا أضفنا تعقيدًا تقنيًّا للبرنامج، وبعض وسائل التواصل البشرية، فما زلنا لا نستطيع اعتبار الكمبيوتر المبتكر الحقيقي للرسالة.

افترض الآن أن الرسالة لم يتم برمجتها بصراحة، لكنها ناتجة عن برنامج ألعاب يحتوي على نموذج معقد للتعبير عن حالته، وربما تأتي تلك الرسالة مفاجأة لمبتكري البرنامج، فقد أبدعها الكمبيوتر من حالة نموذجه الداخلي الخاص أثناء تواصله معك، أنت المستخدم. هل يجعلنا ذلك أقرب إلى اعتبار الكمبيوتر كيانًا واعيًا ذا شعور؟

ربما اقتربنا قليلًا، لكننا لو نظرنا إلى برامج الألعاب الحديثة، فربما لا يدوم الوهم طويلًا عندما نفهم شيئًا فشيئًا الوسائل التي تعطي الكمبيوتر القدرة على الدردشة وحدود هذه القدرة.

والآن افترض أن الآليات الكامنة وراء الرسالة قد تطورت بحيث أصبحت شبكة عصبية هائلة مبنية من السليكون لكنها قائمة على هندسة عكسية للمخ البشري، وافترض أننا ابتكرنا بروتوكول تعلم لهذه الشبكة العصبية يسمح لها بتعلم اللغة البشرية والإلمام بالمعرفة الإنسانية. الدوائر الكهربية في هذه الشبكة أسرع مليون مرة من الخلايا العصبية البشرية، لذلك فلديها الكثير من الوقت لقراءة الأدب الإنساني والخروج بتصوراتها الخاصة عن الواقع، ولا يملي عليها مبتكروها كيف تستجيب للعالم. افترض الآن أن الكمبيوتر يقول: «أنا وحيد ...»

متى نعتبر الكمبيوتر كيانًا واعيًا ذا إرادة حرة؟ كانت تلك أكثر المسائل إثارة للحيرة في الفلسفة منذ ألقت الحوارات الأفلاطونية الضوء على التناقضات المتأصلة في فهمنا لهذه المصطلحات.

دعنا ننظر إلى الموقف من الاتجاه المعاكس. كان صديقنا جاك (في وقت ما في القرن الحادي والعشرين تقريبًا) يشتكي من صعوبة في السمع، وأوضح التشخيص أنه في حاجة إلى ما هو أكثر من أجهزة السمع التقليدية، لذلك أجريت له عملية زرع قوقعة صناعية، وكانت هذه الزراعات في وقت ما تستخدم لمن يعانون عجزًا حادًّا في السمع، وهي الآن وسيلة شائعة لعلاج ضعف السمع بكل درجاته.

نجحت العملية الجراحية، وأصبح جاك سعيدًا بتحسن سمعه.

هل لا يزال هو نفس الشخص؟

بالتأكيد هو كذلك. يجري الناس زراعات القوقعة الاصطناعية منذ نحو عام ١٩٩٩، ولا نزال نعتبرهم نفس الأشخاص.

والآن (بالعودة إلى وقت ما في القرن الحادي والعشرين تقريبًا)، كان جاك منبهرًا بنجاح هذه العملية لدرجة أنه قرر تشغيل دوائر التمييز الصوتي المدمجة التي تحسن الإدراك السمعي ككل، وهذه الدوائر مدمجة بحيث لا يحتاج إلى عملية زرع أخرى لو قرر تشغيلها، وبتنشيط هذه الدوائر البديلة للدوائر العصبية، تتخطى شبكات تمييز الأصوات المدمجة في القوقعة الاصطناعية المناطق العصبية الصوتية العتيقة لديه، ويخصم من حسابه جزء نظير استخدامه البرامج العصبية الإضافية.

مرة أخرى شعر جاك بالسعادة لتحسن قدرته على فهم ما يقوله الناس.

هل لا يزال هو جاك؟ بالطبع، لا شك في ذلك.

جاك الآن مقتنع بفوائد ظهور تقنية الزراعة العصبية، لا تزال شبكيتا العينين تعملان جيدًا لديه، لذلك تركهما سليمتين (مع أنه أجرى زراعة لأجهزة إبصار عن

طريق تصوير الشبكية retinal-imaging displays في قرنيتيه لرؤية الواقع الافتراضي)، لكنه قرر أن يجرب زراعات معالجة الصور التي ظهرت حديثًا، وذهل من مقدار زيادة حيوية وسرعة إدراكه البصري.

هل لا يزال هو جاك؟ لا داعي للسؤال، بالتأكيد هو.

يلاحظ جاك أن ذاكرته لم تعد كسابق عهدها، إذ يبذل جهدًا لتذكر الأسماء، وتفاصيل الأحداث السابقة، ... إلخ. لذلك يبحث عن زراعات الذاكرة، وجاءت النتائج مذهلة، فالذكريات التي مسها النسيان بمرور الوقت أصبحت واضحة كما لو كانت قد حدثت لتوها، ويقاوم جاك أيضًا بعض الآثار غير المرغوبة للعملية عندما يسترجع ذكريات بغيضة كان يفضل أن تبقى طي النسيان.

هل لا يزال جاك هو جاك نفسه؟ من الواضح أنه تغير من عدة جوانب وانبهر أصدقاؤه بقدراته المتطورة، لكنه لا يزال ينتقد ذاته في مزاحه، ويبتسم نفس الابتسامة السخيفة. نعم، لا يزال هو نفس الرجل.

إذن لماذا يتوقف عند هذه المرحلة؟ أخيرًا سوف يكون لدى جاك خيار نسخ مخه وجهازه العصبي بالكامل (وهو غير موجود بكامله في الجمجمة) واستبداله بدوائر إلكترونية ذات سعة وسرعة ودقة أكبر بكثير، وهناك أيضًا ميزة الاحتفاظ بنسخة احتياطية في حالة ما إذا حدث شيء ما لجسد جاك.

هذا بالتأكيد احتمال مخيف، بل ربما يكون أكثر إثارة للفزع منه للإعجاب، ولا شك أنه سيكون موضع خلاف لزمن طويل (مع أنه تبعًا لقانون العائدات المتسارعة، فإن «الزمن الطويل» لن يكون بالطول المعتاد)، وأخيرًا فإن الفوائد الكاسحة لاستبدال الدوائر العصبية التي تفتقر إلى الدقة بأخرى أكثر تطورًا ستكون مثيرة إلى حد بعيد بحيث لا يمكن تجاهلها.

هل فقدنا جاك في لحظة ما؟ لا يظن أصدقاء جاك ذلك، ويزعم جاك أيضًا أنه هو نفسه الرجل القديم، لكنه فقط أحدث منه، وقد تحسنت ذاكرته، وقدراته السمعية والبصرية، وقدرته على التفكير المنطقي، لكنه يظل هو جاك نفسه.

ولكن دعنا نفحص العملية بمزيد من الاهتمام؛ افترض أن جاك — بدلًا من إنجاز هذا التغير خطوة بخطوة كما حدث في السيناريو السابق — أجرى جميع التغييرات مرة واحدة، وذلك بإجراء مسح كامل للمخ ثم وضع المعلومات من هذا المسح في كمبيوتر عصبي إلكتروني. وحتى لا يجري إنجاز الأمور على مراحل، فإنه يحدِّث جسمه أيضًا. هل يغير إنجاز التحول دفعة واحدة شيئًا؟ ما الفرق بين التغيير من دوائر عصبية إلى

دوائر إلكترونية/فوتونية دفعة واحدة، مقارنة بإجراء ذلك على نحو تدريجي؟ حتى لو أجرى جاك التغييرات في خطوة واحدة سريعة، فسيظل جاك الجديد هو جاك القديم، أليس كذلك؟

لكن ماذا عن مخ وجسم جاك القديمين؟ إذا أجري مسح غير جراحي، فإنهما يظلان موجودين، هذا هو جاك! وإذا استخدمت المعلومات التي جرى مسحها لتركيب نسخة من جاك فإن ذلك لا يغير حقيقة أن جاك الأصلي يظل موجودًا ويظل إلى حد ما كما هو. وقد لا يدرك جاك مطلقًا أن جاك جديدًا قد جرى إنتاجه. و يمكننا إنتاج أكثر من جاك واحد جديد.

إذا تضمن الإجراء تدمير جاك القديم بعد إجراء بعض خطوات ضمان الجودة للتأكد من أن جاك الجديد فعال تمامًا، ألا يعد ذلك قتلًا (أو انتحارًا) لجاك؟

افترض أن مسح جاك الأصلي لم يتم بصورة غير جراحية، أي أنه مسح «إتلافي»، ولاحظ أن المسح الإتلافي من وجهة النظر التكنولوجية أكثر سهولة. فالواقع أن لدينا اليوم (في عام ١٩٩٩) التكنولوجيا التي تسمح بالمسح الإتلافي لأجزاء عصبية مجمدة، والتحقق من شبكة التوصيل ما بين الخلايا العصبية، ونسخ الخوارزميات الرقمية التناظرية المتوازية للخلايا العصبية.[١] ليس لدينا بعد السعة الترددية اللازمة للقيام بسرعة كافية بمسح أي شيء عدا جزء بالغ الصغر من المخ، لكن مشكلة السرعة كان يعاني منها مشروع آخر في بدايته، وهو مشروع مسح الجينوم البشري، ولو ظلت السرعة التي أجرى بها الباحثون مسح وتتبع الشفرة الوراثية البشرية عام ١٩٩١ كما هي لاحتاج الأمر آلاف السنوات لإكمال المشروع، ومع ذلك حددت أربعة عشر سنة لإنهاء المشروع، ويبدو الآن أن هذا سيتحقق بنجاح. من الواضح أن مشروع الجينوم البشري قد وضع الافتراض «الصحيح» بأن سرعة وسائل قراءة تتابع الدي إن إيه سوف تزيد زيادة كبيرة بمرور الوقت، وسوف يكون الأمر كذلك في مشروعاتنا لمسح المخ البشري. يمكننا أن نقوم بذلك الآن ببطء شديد، لكن هذه السرعة ــ مثل كل الظواهر الخاضعة لقانون العائدات المتسارعة ــ سوف تزداد أسيًّا في السنوات المقبلة.

والآن افترض أننا ونحن نمسح جاك مسحًا إتلافيًّا، وضعنا هذه المعلومات في نفس الوقت في جاك الجديد، ويمكننا اعتبار ذلك عملية «نقل» لجاك إلى مخه وجسمه الجديدين. قد يُقال إن جاك لم يجر تدميره، لكنه انتقل فقط إلى جسد أكثر ملاءمة. لكن ألا يعادل ذلك مسح جاك مسحًا غير جراحي، ثم تركيب جاك الجديد وتدمير جاك القديم؟ إذا انتهت هذه السلسلة من الخطوات بقتل جاك القديم، فإن عملية نقل جاك

في خطوة واحدة لا بد أن تصل إلى النهاية نفسها. بذلك يمكننا القول بأن أية عملية نقل لجاك تساوي انتحار جاك القديم، وأن جاك الجديد ليس هو نفس الشخص.

مفهوم المسح وإعادة تركيب المعلومات مألوف لنا في تقنية الانتقال الآني في الخيال العلمي في حلقات ستار تريك Star Trek. وفي هذا المسلسل الخيالي يجري المسح وإعادة التكوين على مقياس نانوي، أي جزيئًا جزيئًا، بدلًا من إعادة تكوين الخوارزميات البارزة للمعالجة العصبية المعلوماتية التي تخيلناها فيما سبق، لكن المفهوم متشابه إلى حد بعيد. لذلك يمكن القول بأن شخصيات ستار تريك تقترف الانتحار في كل مرة يجري نقلها آنيًا، إذ تتكون شخصيات جديدة، وهذه الشخصيات الجديدة تتكون من جزيئات مختلفة تمامًا مع أنها في الأساس مطابقة للأولى، إلا إذا تخيلنا أن الجزيئات هي التي يجري إرسالها إلى الوجهة الجديدة. وربما يكون من الأسهل أن نرسل المعلومات فقط ونستخدم جزيئات جديدة لتركيب الأجساد الجديدة. هل يختلف الأمر؟ هل يتوقف الوعي على الجزيئات أم على هيئتها وتنظيمها؟

يمكننا القول بأن الوعي والهوية لا يتوقفان على جزيئات محددة بحال من الأحوال، لأن جزيئاتنا تتغير مرارًا وتكرارًا. وعلى المستوى الخلوي نغير أغلب خلايانا (رغم أننا لا نغير خلايا مخنا) خلال فترة زمنية تمتد عدة سنوات،[٢] ويكون التغيير على المستوى الذري أسرع كثيرًا من ذلك، ويشمل خلايا مخنا. إننا لسنا بحال من الأحوال مجموعات دائمة من الجزيئات، وأنماط المادة والطاقة هي التي تعد شبه دائمة (أي تتغير تدريجيًّا فقط)، لكن محتوياتنا المادية الحقيقية تتغير تغيرًا مستمرًّا وسريعًا جدًّا، فنحن أقرب إلى الأنماط التي يصنعها الماء في تيار نهر صغير، إذ يصنع الماء المندفع حول مجموعة من الصخور نمطًا خاصًّا فريدًا، وقد يظل هذا النمط ثابتًا نسبيًّا لعدة ساعات، أو حتى سنوات، وبالطبع فإن المادة الحقيقية التي تكوِّن النمط ـــ وهي الماء ـــ تستبدل بكاملها في أجزاء من الثانية. ويدل ذلك على أننا يجب ألا نربط هويتنا الأساسية بمجموعات خاصة من الجزيئات، بل بنمط من المادة والطاقة الذي نمثله، وهذا بالتالي يثبت أن علينا أن نعتبر جاك الجديد هو نفسه جاك القديم لأن النمط لم يتغير. (قد يقول أحدهم إنه في حين يتمتع جاك الجديد بنفس خصائص لجاك القديم من الناحية العملية، فإنه ليس مطابقًا له، غير أن هذا تملص من السؤال الأساسي ليس إلا، لأننا نستطيع إعادة صياغة السيناريو بتقنية تستخدم الهندسة النانوية وتنسخ جاك ذرة بذرة بدلًا من مجرد نسخ الخوارزميات البارزة لمعالجة المعلومات.)

يبدو أن الفلاسفة المعاصرين يميلون للرأي القائل بأن «الهوية تأتي من النمط»، ونظرًا لأن نمطنا يتغير ببطء مقارنة بجزيئاتنا، فإن هناك شيئًا من الصحة في هذا الرأي، لكن نقيض هذه الحجة هو انتظار «جاك القديم» نهايته بعد نسخ «نمطه» وتركيبه في وسط حوسبي جديد. وقد يدرك جاك القديم فجأة أن حجة «الهوية تأتي من النمط» خطأ.

## المخ كآلة مقارنة بالمخ المتجاوز للآلة

> لا يستطيع العلم أن يحل لغز الطبيعة المطلق لأننا في النهاية جزء من اللغز الذي نحاول حله.
>
> ماكس بلانك Max Planck

> هل كل ما نراه أو يبدو أننا نراه، مجرد حلم في داخل حلم؟
>
> إدجار ألان بو Edger Allan Poe

> ماذا لو أن كل شيء وهم ولا يوجد أي شيء؟ في هذه الحالة، لا شك أنني أغالي في امتلاكي لسجادتي.
>
> وودي ألان Woody Allen

## الفرق بين التجربة الموضوعية والذاتية

هل يمكننا شرح تجربة الغوص في بحيرة لشخص لم يغص قط في الماء؟ وماذا عن نشوة الجنس بالنسبة لشخص لم يشعر قط بمشاعر شهوة جنسية (بافتراض وجود شخص كهذا)؟ هل يمكننا أن نشرح المشاعر التي تثيرها الموسيقى لشخص أصم منذ الولادة؟ بالتأكيد سوف يتعلم الشخص الأصم الكثير عن الموسيقى: مراقبة الناس وهم يتمايلون مع إيقاعها، والقراءة عن تاريخها ودورها في العالم، لكن كل لا يضاهي الاستماع إلى افتتاحية لشوبان. عندما أرى ضوءًا طول موجته ٠,٠٠٠٠٧٥ سنتيمتر فإنني أرى اللون الأحمر، وإذا تغير طول الموجة إلى ٠,٠٠٠٠٣٥ سنتيمتر فإنني أرى اللون البنفسجي، ويمكن الحصول على نفس اللونين أيضًا بخلط الأضواء الملونة، فاتحاد اللونين الأحمر والأخضر يعطي اللون الأصفر. غير أن خلط الأصباغ يختلف عن تغيير أطوال الموجات

لأن الصبغات تحذف الألوان بدلًا من إضافتها. وإدراك الإنسان للألوان يتجاوز مجرد الإحساس بالترددات الكهرومغناطيسية، ولا نزال عاجزين عن فهمه فهمًا كاملًا، ومع ذلك فحتى لو كانت لدينا نظرية وافية بالغرض تمامًا لتفسير عملياتنا العقلية، فإنها لن تنقل الشعور الذاتي بالاحمرار والاصفرار، فأنا أجد اللغة عاجزة عن التعبير عن شعوري باللون الأحمر. ربما يمكنني أن أجمع بضع أفكار شعرية عن مشاعري، لكن لو لم تكن قد مررت بنفس المشاعر، فلن أستطيع أن أنقل إليك مشاعري.

إذن كيف أعرف أنك تشعر بنفس الشيء عندما تتكلم عن الاحمرار؟ ربما ترى الأحمر كما أرى أنا الأزرق، والعكس بالعكس. كيف نستطيع اختبار افتراضاتنا بأننا نرى هذه الألوان على النحو نفسه؟ إننا نعرف بالفعل أن هناك بعض الاختلافات. ولأنني مصاب بما يسمى خطأ العمى اللوني «أحمر-أخضر»، فهناك درجات لونية تظهر لي متماثلة تمامًا ويراها الآخرون متباينة، ومن الواضح أن من لا يعاني هذا العجز منكم يرى الأشياء بصورة تختلف عن رؤيتي لها. ما الذي ترونه جميعًا؟ لن أعرف أبدًا.

الحبارات العملاقة مخلوقات اجتماعية مدهشة لها عيون تماثل في تركيبها عيون البشر (وهو أمر مدهش نظرًا للاختلاف الشاسع في نشأة النوعين)، ولها جهاز عصبي معقد. لم يستطع إقامة علاقة مع هذه الرأسقدميات الذكية إلا قلة من العلماء المحظوظين. إذن ما الذي تشعر به الحبارات العملاقة؟ عندما نراها وهي تستجيب للخطر وتظهر سلوكًا يذكّرنا بعاطفة إنسانية، فإننا نستنتج أنها تمر بمشاعر مألوفة لنا، لكن ماذا عن مشاعرها التي لا نظير لها لدى الإنسان؟

أو هل لديها مشاعر على أي حال؟ ربما تكون أقرب «لآلات» تستجيب بصورة مبرمجة للمحفزات في بيئتها، وربما لا عقل لها. يؤمن بعض الناس بوجهة النظر هذه؛ البشر هم الكائنات الوحيدة العاقلة، والحيوانات تستجيب للعالم «بالغريزة»، شأنها شأن الآلة. ويرى آخرون — ومنهم مؤلف هذا الكتاب — أن من الواضح أن الحيوانات الأكثر تطورًا على الأقل كائنات عاقلة، وذلك نظرًا لمشاعر عاطفية لدى الحيوانات تعبر عن عواطف نراها مماثلة لردود الفعل البشرية. لكن هذه طريقة تفكير تتركز على الإنسان لأنها لا تميز سوى المشاعر الذاتية التي تماثل مشاعر الإنسان. وتتباين الآراء بشأن وعي الحيوان تباينًا كبيرًا، والواقع أن مسألة الوعي التي تشكل أساس قضية حقوق الحيوان، وترجع النزاعات في مجال حقوق الحيوان حول ما إذا كانت بعض

الحيوانات تعاني أم لا في مواقف معينة إلى عجزنا العام عن إدراك أو قياس المشاعر الذاتية لكائن آخر.[٢]

والرأي القائل بأن الحيوانات «مجرد آلات» هو انتقاص من قدر الحيوانات والآلات، فالآلات في الوقت الراهن أقل تعقيدًا بمليون مرة من المخ البشري، ويماثل تعقدها وذكاؤها حاليًّا تعقد وذكاء الحشرات. هناك قليل من الافتراضات حول المشاعر الذاتية للحشرات، مع أنه — أكرر من جديد — لا توجد طريقة مقنعة لقياس ذلك. لكن التفاوت في القدرات بين الآلات والحيوانات المتطورة مثل الأنواع الفرعية للإنسان العاقل *Homo sapiens sapiens* لن يدوم طويلًا، والتطور المستمر في ذكاء الآلات — وسوف نتعرض له في الفصول التالية — سوف يصل بالآلات إلى مستويات التعقيد والرقي البشرية ويفوقها في غضون عدة عقود. هل ستكون هذه الآلات عاقلة؟

وماذا عن الإرادة الحرة؟ هل ستتخذ الآلات ذات التعقيد البشري قراراتها بنفسها، أم أنها ستتبع فقط برنامجًا ما، مع أنه برنامج بالغ التعقد؟ هل يمكن الوصول إلى تمييز هنا؟

تمثل قضية الوعي أساسًا لقضايا أخرى محيرة؛ خذ مسألة الإجهاض مثلًا: هل البويضة الملقحة إنسان واعٍ؟ ماذا عن الجنين قبل يوم واحد من الولادة؟ من الصعب القول بأن البويضة الملقحة كائن واعٍ أو أن الجنين مكتمل النمو ليس واعيًا. ويخشى معارضو الإجهاض ومؤيدوه المنحدر الزلق بين هذين النقيضين، والمنحدر زلق حقًّا، فالمخ يظهر لدى الجنين البشري بسرعة، لكن لا يمكن وصفه على الفور بأنه مخ بشري، وشيئًا فشيئًا يصبح مخ الجنين أقرب إلى المخ البشري. وليس للمنحدر أسطح أفقية للوقوف عليها. وباعتراف الجميع، فإن المسائل الأخرى التي يصعب تعريفها مثل كرامة الإنسان تعتبر محل نزاع، لكن من الجانب الأساسي يتعلق النزاع بالإحساس. وبعبارة أخرى، متى يكون لدينا هوية واعية؟

عولجت بعض الأنواع الحادة من الصرع بنجاح عن طريق استئصال النصف المصاب في المخ جراحيًّا، ولا بد من إجراء هذه الجراحة القاسية أثناء الطفولة قبل اكتمال نضج المخ، ويمكن إزالة أي من نصفي المخ، وإذا نجحت العملية فسوف ينمو الطفل نموًّا طبيعيًّا نوعًا ما. هل يعني ذلك أن كلًّا من نصفي المخ له وعي خاص؟ ربما يكون هناك اثنان منا في كل مخ سليم تجمعهما علاقات ودية، وربما يحتوي المخ الواحد على عدد كبير من الشخصيات الواعية، لكل منها منظور مختلف بعض الشيء. هل هناك وعي يدرك العمليات العقلية التي نعتبرها لاواعية؟

يمكنني الاستمرار مدة طويلة في هذه الألغاز، والواقع أن الناس منذ القدم يفكرون في هذه الألغاز، فقد شغلت هذه المسائل بال أفلاطون على سبيل المثال، وفي محاورات فيدون Phaedo والجمهورية The Republic وتيتيتاس Theaetetus يعبر أفلاطون عن التناقض العميق المتأصل في مفهوم الوعي والقدرة البشرية الواضحة على حرية الاختيار. فمن ناحية تشارك الكائنات البشرية في العالم الطبيعي وتخضع لقوانينه، وعقولنا ظواهر طبيعية ولا بد أن تتبِع قوانين العلة والمعلول التي تظهر في الآلات وغيرها من ابتكارات جنسنا التي لا حياة فيها. كان أفلاطون يدرك إمكانية تعقد الآلات وقدرتها على محاكاة العمليات المنطقية المعقدة، ومن ناحية أخرى يجب ألا تؤدي آلية العلة والمعلول مهما كان تعقدها إلى ظهور الإدراك الذاتي أو الوعي كما قال أفلاطون. أولى محاولات أفلاطون لحسم هذا الصراع في نظرية المُثُل: الوعي ليس خاصية لآلية التفكير، لكنه الحقيقة المطلقة للوجود البشري، ووعينا ــ أو «روحنا» ــ ثابت لا يتبدل، لذلك فإن تفاعلنا العقلي مع العالم الفيزيائي يكون على مستوى «آلية» عملية تفكيرنا المعقدة، وتظل الروح بمعزل.

لكن أفلاطون يدرك أن هذا ليس صحيحًا، فلو كانت الروح ثابتة لا تتبدل، فلا يمكنها عندئذ أن تتعلم أو تشارك في التفكير، لأنها ستحتاج إلى التغير لاستيعاب التجارب والاستجابه لها. وينتهي الأمر بأفلاطون إلى رفض افتراض وجود الوعي في أي من الجانبين: العمليات العقلية للعالم الطبيعي أو المستوى الروحي للشكل المثالي للنفس أو الروح.[٤]

يعكس مفهوم الإرادة الحرة تناقضًا أعمق من ذلك، فالإرادة الحرة هي السلوك الهادف واتخاذ القرار، وكان أفلاطون يؤمن «بفيزياء جسيمية» قائمة على قواعد ثابتة ومحددة علة ومعلول ثابتة وأكيدة. لكن لو اعتمد القرار الإنساني على التفاعلات المتوقعة لهذه الجسيمات الأساسية، لكانت قراراتنا أيضًا محددة سلفًا، ويتناقض ذلك مع حرية الإرادة الإنسانية. وإضافة العشوائية للقوانين الطبيعية احتمال قائم، لكنه لا يحل المشكلة، فالعشوائية قد تستبعد التحديد المسبق للقرارات والأفعال، لكنها تتناقض مع وجود هدف للإرادة الحرة، إذ ليس هناك ما هو هادف في العشوائية.

حسنًا، دعنا نضع الإرادة الحرة في الروح. لا، ذلك لن يفيد أيضًا، ففصل الإرادة الحرة عن آلية العلة والمعلول العقلانية للعالم الطبيعي يتطلب وضع المنطق والتعلم في الروح أيضًا، وإلا لن تستطيع الروح اتخاذ قرارات ذات معنى، والآن ها هي الروح نفسها تصبح آلة معقدة، مما يتناقض مع بساطتها الروحية.

ربما هذا هو سبب كتابة أفلاطون للمحاورات، بهذه الطريقة يمكنه التعبير بحماسة عن كلا جانبي هذه الآراء المتعارضة، وأنا متعاطف مع مأزق أفلاطون: ليس هناك من الآراء الواضحة ما هو كاف بالفعل، ولا يمكن إدراك الحقيقة العميقة إلا بتوضيح الجوانب المتعارضة في مفارقة ما.

لم يكن أفلاطون بالتأكيد هو آخر المفكرين الذين بحثوا هذه المسائل، ويمكننا ذكر عدة مدارس فكرية في هذه الموضوعات، ليس من بينها ما يعد مقبولًا تمامًا.

## مدرسة «الوعي مجرد آلة تستبطن نفسها»

إحدى النظريات الشائعة هي إنكار وجود قضية، والادعاء بأن الوعي والإرادة الحرة وهمان أفرزهما غموض اللغة، وهناك نظرية أخرى لا تختلف كثيرًا تقول إن الوعي ليس بالضبط وهمًا، لكنه عملية منطقية عادية؛ إنه عملية تستجيب وتتفاعل مع نفسها. يمكننا وضع ذلك في آلة: فقط قم بتطوير إجراء لديه نموذج عن نفسه، ويختبر ويستجيب لمناهجه الخاصة. واسمح للعملية بأن تستبطن نفسها. وهنا، سيكون لديك الآن وعي. إنه مجموعة من القدرات تطورت لأن طرق الاستبطان في التفكير أكثر قوة في صميمها.

وصعوبة المجادلة ضد مدرسة «الوعي مجرد آلة تستبطن نفسها» أن هذا المنظور مترابط ذاتيًا. لكن وجهة النظر هذه تتجاهل وجهة النظر الذاتية. يمكنها التعامل مع بيان الشخص عن تجربة ذاتية، ويمكنها ربط بيانات تجارب ذاتية ليس فقط مع سلوك خارجي ولكن أيضًا مع أنماط قدح الزناد العصبية أيضًا. وإذا فكرت فيها، فإن معرفتي بالتجربة الذاتية لأي شخص بعيدًا عن نفسي لا تختلف (بالنسبة لي) عن بقية معرفتي الموضوعية. لا أجرب التجارب الذاتية للناس الآخرين، أنا فقط أسمع عنها. لذلك فإن التجربة الوحيدة الذاتية التي تتجاهلها هذه المدرسة في التفكير هي تجربتي الخاصة (وهي على أي حال، ما يعنيه مصطلح التجربة الذاتية). ويا له من موقف! أنا فقط شخص واحد من بين مليارات البشر، من بين تريليونات الكائنات الحية الواعية المحتملة، وهم جميعًا، باستثناء واحد، ليسوا أنا.

لكن العجز عن توضيح تجربتي الذاتية هو أمر معقد جدًا. إنه لا يفسر التمييز بين ٠,٠٠٠٠٧٥ سنتيمتر إشعاع كهرومغناطيسي وخبرتي باللون الأحمر. يمكنني تعلم كيفية عمل إدراك اللون، وكيفية معالجة المخ البشري للضوء، وكيفية معالجته لتوليفات الضوء، حتى ما تقدحه الأنماط العصبية لكل هذه الاستثارات، لكن يظل هناك فشل في تفسير جوهر تجربتي.

## الوضعيون المنطقيون[٥]

إنني أفعل ما في وسعي للتعبير عما أتحدث عنه هنا، لكن القضية للأسف لا يمكن تفسيرها تفسيرًا كاملًا. يصف دي. جيه. كالمرز D. J. Chalmers لغز تجربة الحياة الداخلية باعتبارها «مسألة صعبة» للوعي، لتمييز هذه القضية عن «المسألة السهلة» لكيفية عمل المخ.[٦] ولاحظ مارفين منسكي Marvin Minsky أن «هناك شيئًا غريبًا حول وصف الوعي: مهما كان معنى ما يقوله الناس يبدو ببساطة أنهم لا يجعلون الأمر واضحًا.» هذه هي المسألة على وجه الدقة، هذا ما تقوله مدرسة «الوعي مجرد آلة تستبطن نفسها» — للحديث عن الوعي غير كونه نمط قدح الزناد العصبي يصبح الأمر تشتتًا في مملكة روحية خلف أي أمل لتأكيد الحقيقة.

ويُشار أحيانًا لوجهة النظر الموضوعية هذه بأنها وضعية منطقية logical positivism، وهي فلسفة صنفها لودفيج فيتجينشتاين Ludwig Wittgenstein في كتابه «رسالة في المنطق الفلسفي Tractatus Logico-Philosophicus».[٧] بالنسبة للوضعيين المنطقيين فإن الأمور الوحيدة التي تستحق الحديث عنها هي تجاربنا الحسية المباشرة، والاستنتاجات المنطقية التي يمكننا أن نستخلصها منها. وأي شيء آخر «يجب علينا تجاوزه في صمت»، اقتباسًا من آخر عبارة لفتجنشتين في رسالته.

مع ذلك لا يمارس فتجنشتين ما ينادي به. وفي كتابه «تحقيقات فلسفية»، الذي نُشر في ١٩٥٣، بعد وفاته بعامين، تستحق هذه الأمور التأمل فيها وهي بالضبط نفس القضايا التي رأى مبكرًا أنه يجب تجاوزها في صمت.[٨] ومن الواضح أنه عاد إلى وجهة النظر القائلة بأن أسلاف عبارته الأخيرة في «الرسالة» — وهو ما لا نستطيع قوله — هي الظاهرة الوحيدة الحقيقية التي تستحق التفكير فيها. وأثرت أعمال فتجنشتين الأخيرة بشدة على فلاسفة الوجودية، الذين ربما يلفتون الانتباه للمرة الأولى منذ أفلاطون إلى أن فيلسوفًا رئيسيًّا كان ناجحًا في توضيح وجهات النظر المتناقضة هذه.

## أنا أفكر إذن أنا موجود

يُعتقد بأن فتجنشتين المبكر والوضعيون المنطقيون الذين ألهمهم تعود جذورهم إلى التحقيقات الفلسفية لرينيه ديكارت Rene Descartes.[٩] وغالبًا ما تُذكر حكمة ديكارت الشهيرة «أنا أفكر إذن أنا موجود» باعتبارها رمزية للعقلانية الغربية. تُفسر وجهة النظر هذه بأن ديكارت يعني «أنا أفكر، أي يمكنني التعامل مع المنطق والرموز، ومن ثم فأنا

ذو شأن.» ولكن من وجهة نظري، لم يكن ديكارت يقصد الإشادة بفضائل التفكير المنطقي، لقد كان منزعجًا مما أصبح معروفًا بمشكلة «العقل-الجسم»، التناقض حول إمكانية ظهور العقل من اللاعقل، وإمكانية ظهور الأفكار والمشاعر من المادة العادية للمخ. وبدفع الشكية المنطقية إلى حدودها القصوى، فإن عبارته تعني في الحقيقة «أنا أفكر إذن هناك ظاهرة عقلية لا يمكن إنكارها؛ نوع من الدراية، لذلك فإن كل ما نعرفه بالتأكيد هو أن شيئًا ما — دعنا نسميه أنا — موجود.» بعرض الأمر بهذه الطريقة، تكون هناك ثغرة أقل مما يُعتقد عادة بين مفاهيم ديكارت ومفاهيم البوذية للوعي باعتباره واقعًا أوليًّا.

قبل ٢٠٣٠، سوف تكون لدينا آلات تجهر بحكمة ديكارت. ولا يبدو الأمر باعتباره استجابة مبرمجة. وسوف تكون الآلات صادقة ومقنعة. هل نصدقها عندما تزعم بأنها كيانات واعية لها إرادتها الخاصة؟

## مدرسة «الوعي نوع مختلف من الجوهر»

بالطبع كانت قضية الوعي والإرادة الحرة الشغل الشاغل للتفكير الديني. وهنا نلتقي باستعراض مهيب للظاهرة، يتراوح بين المفاهيم البوذية الأنيقة عن الوعي والمعابد المبهرجة للأرواح، والملائكة، والآلهة. وفي تصنيف مشابه هناك نظريات لفلاسفة معاصرين تنظر إلى الوعي باعتباره مع ذلك ظاهرة أساسية أخرى في العالم، مثل الجسيمات والقوى الأساسية. وأسمي ذلك مدرسة «الوعي نوع مختلف من الجوهر.» وبقدر أن هذه المدرسة تتضمن تدخلًا للوعي في العالم الفيزيائي مما يجعله في صراع مع التجربة العلمية، فإن العلم محتوم له أن يفوز بسبب قدرته على التحقق من أفكاره. وبقدر ما تظل وجهة النظر هذه متباعدة عن العالم المادي، فإنها تخلق غالبًا مستوى من الإيمان المعقد بوجود حقائق روحية لا يمكن التحقق منها وتتعرض للتضارب. وبقدر ما تحافظ على إيمان بسيط بهذه الحقائق، فإنها تقدم فكرة موضوعية محدودة، ومع أن البصيرة الذاتية أمر آخر (عليّ الاعتراف بولع بالحقائق الروحية البسيطة).

## مدرسة «نحن بالغو الغباء»

مقاربة أخرى هي إعلان أن الكائنات البشرية ببساطة غير قادرة على فهم الإجابة الصحيحة. يستغرق الباحث في مجال الذكاء الاصطناعي دوجلاس هوفستادتر

Douglas Hofstadter في التفكير قائلًا «قد يكون الأمر ببساطة صدفة قدرية أن أمخاخنا بالغة الضعف في فهم نفسها. انظر الزرافة لولي Lowly، على سبيل المثال، من الواضح أن مخها أقل بكثير عن المستوى المطلوب للفهم الذاتي — لكنه مع ذلك يشبه بصورة فائقة مخنا».[١٠] ولكن في حدود معرفتي، ليس من المعروف عن الزرافات بأنها تطرح مثل هذه الأسئلة (بالطبع لا نعرف كيف تقضي وقتها في التساؤل). من وجهة نظري، إذا كنا بالتعقيد الكافي لطرح الأسئلة، فنحن إذن على درجة من التطور تكفي لفهم الإجابات. ومع ذلك فإن مدرسة «نحن بالغو الغباء» توضح أن لدينا حقًّا صعوبة في الصياغة الواضحة لهذه الأسئلة.

## مركَّب وجهات النظر

وجهة نظري أن كل هذه المدارس صحيحة عندما يُنظر إليها معًا، لكنها غير كافية إذا نظرنا لكل منها على حدة. إذن توجد الحقيقة في مركَّب من وجهات النظر هذه. ويعكس ذلك تعليمي الديني الخلاصي الموحِد Unitarian حيث ندرس كل أديان العالم، ونعتبرها «دروبًا متعددة للحقيقة.» وبالطبع قد يُنظر إلى وجهة نظري باعتبارها أسوأها جميعًا. وفيما يبدو فإن وجهة نظري متناقضة ونصيبها قليل من الصواب، والمدارس الأخرى يمكنها على الأقل الزعم بمستوى ما من الاتساق والترابط المنطقي.

## التفكير هو ما يفعله التفكير

نعم، هناك وجهة نظر أخرى، وهي ما أطلق عليها مدرسة «التفكير هو ما يفعله التفكير.» في بحث عام ١٩٥٠ يصب ألان تورنج Alan Turing مفهومه عن اختبار تورنج، حيث يلتقي حَكَم من البشر كمبيوترًا وشخصًا أو أكثر متنكرين باستخدام طرفين لا يراهما الحكم (بحيث لا يكون لدى الحَكَم رأي معاد للكمبيوتر لافتقاده هيئة الحيوية والارتباك البشريين).[١١] إذا عجز الحَكَم البشري عن اكتشاف الكمبيوتر بكل ثقة (بصفته مدعي بشرية) فإن الكمبيوتر يفوز في الاختبار. ويُوصف الاختبار غالبًا بأنه نوع من اختبار ذكاء الكمبيوتر، كوسيلة لتحديد ما إذا كانت الكمبيوترات قد وصلت إلى مستوى ذكاء الإنسان أم لا. ومع ذلك، فمن وجهة نظري قصد تورنج من اختبار تورنج أن يكون اختبارًا للتفكير، وهي كلمة يستخدمها لتشمل أكثر من مجرد التعامل الذكي مع المنطق واللغة. بالنسبة لتورنج فإن التفكير يتضمن القصدية الواعية.

كان لدى تورنج فهم ضمني للنمو الأسي لقوة الحوسبة، وتنبأ بأن الكمبيوتر قد يتجاوز اختبار من ابتكره مع نهاية القرن. ولاحظ أنه في ذلك الوقت «سوف يتغير استخدام الكلمات والرأي العام المثقف بدرجة كبيرة حيث سيكون من الممكن الكلام عن تفكير الآلات دون توقع أن يكون ذلك متناقضًا.» وكان تنبؤه متفائلًا إلى حد بعيد بالنسبة لإطار الزمن، ولكن من وجهة نظري لم يكن هذا بالتفاؤل الكثير.

## وجهة نظر من ميكانيكا الكم

أحلم غالبا بالسقوط. هذه الأحلام عادية بالنسبة للشخص الطموح أو أولئك الذين يتسلقون الجبال. منذ وقت قريب حلمت بأنني كنت أحاول الإمساك بواجهة صخرة، لكنني لم أستطع القبض عليها. انهار الحصى. تشبثت بشجيرة، لكنها اقتلعت من الأرض، وفي رعب بالغ الشدة سقطت في الهاوية. وفجأة أدركت أن السقوط كان نسبيًا، لم يكن هناك قاع ولا نهاية. استحوذ عليّ شعور بالبهجة. أدركت أن ما أجسده، وهو مبدأ الحياة، لا يمكن تدميره. إنه مكتوب بالشفرة الكونية، في نظام الكون. ومع استمراري في السقوط في الفراغ المظلم، تعانقني قبة السماء، غنيت لجمال النجوم وتصالحت مع الظلام.

هينز باجلس Heinz Pagels، عالم فيزياء وباحث في ميكانيكا الكم قبل وفاته عام ١٩٨٨ في حادث تسلق.

تقول وجهة النظر الموضوعية الغربية إنه بعد مليارات السنين من الحركة الدوامية، تطورت المادة والطاقة لخلق أنماط لأشكال حياة معقدة تتكاثر ذاتيًا من المادة والطاقة، وهي التي تقدمت إلى حد كاف لتفكر في وجودها الخاص، وفي الطبيعة والمادة والطاقة، وفي وعيها الخاص. وفي المقابل تقول وجهة النظر الذاتية الشرقية بأن الوعي أتي أولًا، وأن المادة والطاقة مجرد أفكار معقدة للكائنات الواعية، أفكار لا حقيقة لها بدون وجود مفكر.

وكما ذُكر سابقًا، كانت الحقيقة الموضوعية والذاتية مجال خلاف منذ فجر التاريخ. ومع ذلك يستحق الأمر جمع وجهتي النظر المتناقضتين ظاهريًا

للوصول إلى فهم أعمق. تلك كانت حالة ما تبنته ميكانيكا الكم منذ خمسين عامًا. أكثر من كونها توفق بين وجهتي النظر بأن الإشعاع الكهرومغناطيسي (الضوء على سبيل المثال) إما أن يكون تيارًا من الجسيمات (مثل الفوتونات) أو ذبذبة (مثل موجات الضوء)، فقد دمجت بين وجهتي النظر في ازدواجية يتعذر استئصالها. بينما يستحيل إدراك هذه الفكرة باستخدام نماذجنا الحدسية عن الطبيعة، فنحن لا نستطيع تفسير العالم دون أن نقبل هذا التناقض الظاهري. ولقد ساعدت متناقضات أخرى لميكانيكا الكم (على سبيل المثال «نفقية tunneling» الإلكترون حيث تظهر الإلكترونات في الترانزستور على جانبي الحاجز) في خلق عصر الحوسبة، وقد تطلق العنان لثورة جديدة على هيئة كمبيوتر كمي،[١٢] لكننا سنذكر المزيد من ذلك لاحقًا.

بمجرد قبولنا مثل هذا التناقض، تحدث العجائب. بافتراض ازدواجية الضوء، اكتشفت ميكانيكا الكم صلة أساسية بين المادة والوعي. من الواضح أن الجسيمات لا تتخذ قرارًا بالطريق الذي ستسلكه أو حتى أين كانت حتى يتم إجبارها على فعل ذلك بواسطة ملاحظات ملاحظ واع. قد نقول إنها تبدو غير موجودة على أي حال بالفعل بشكل رجعي إلا وبشرط أن نلاحظها.

هكذا يعود علم القرن العشرين الغربي إلى وجهة النظر الشرقية. الكون على درجة كافية من السمو بحيث إن وجهة النظر الغربية الموضوعية في جوهرها حول الوعي الصادر عن المادة ووجهة النظر الشرقية الذاتية في جوهرها حول أن المادة صادرة عن الوعي تتعايشان كما يظهر كازدواجية أخرى يتعذر اختزالها. ومن الواضح أن الوعي، والمادة، والطاقة مرتبطة بشكل يصعب فك تشابكاته.

وقد نلاحظ هنا تماثلًا بين ميكانيكا الكم ومحاكاة الكمبيوتر للعالم الافتراضي. في ألعاب البرمجيات الحالية التي تعرض صور العالم الافتراضي، لا يتم حاليًا غالبًا الحوسبة بالتفصيل، أو لا يتم ذلك بأية درجة، لأقسام البيئة التي يحدث تفاعل بينها وبين المستخدم (أي الموجودة خارج إطار الشاشة). وتتجه المصادر المحدودة للكمبيوتر نحو تقديم قسم العالم الذي يشاهده المستخدم حينئذ. وعندما يركز المستخدم على بعض الجوانب الأخرى، تتجه مصادر الحوسبة على الفور نحو خلق وعرض هذا المنظور الجديد. وبذلك يبدو

كما لو أن أقسام العالم الافتراضي الموجودة خارج إطار الشاشة لا تزال مع ذلك «هناك» لكن تقدير مصممي البرمجيات هنا أنه لا ضرورة لفقد دورات كمبيوتر قيِّمة على مناطق لعالمهم الذي تمت محاكاته عندما لا يكون هناك من يراقب هذه المناطق.

قد يمكنني القول بأن النظرية الكمية تتضمن كفاءة مماثلة في العالم الفيزيائي. يبدو أن الجسيمات لا تتخذ قرارًا عن المكان الذي توجد فيه حتى تكون مجبرة على فعل ذلك بأن تتم ملاحظتها. والتضمين أن أقسام العالم الذي نعيش فيه لا تكون «متوفرة» بالفعل حتى يوجه أحد المراقبين الواعين انتباهه إليها. ومع ذلك، لا ضرورة لفقد «حسابات» قيِّمة لكمبيوتر سماوي يقدم كوننا. وهذا يعطي معنى جديد للسؤال حول الشجرة التي تسقط في الغابة وليس هناك من يصغي لصوت سقوطها.

وفي النهاية، يتنبأ تكهن تورنج بكيفية حل قضية تفكير الكمبيوتر. سوف تقنعنا الآلات بأنها واعية، وأن لديها أجندتها الخاصة التي تستحق احترامنا. وسوف يفضي بنا الأمر إلى تصديق أنها واعية كما نؤمن بذلك بالنسبة لكل منا. وأكثر من تصديقنا لأصدقائنا الحيوانات، سوف نتعاطف مع مشاعر الآلات ومجاهداتها المعلنة لأن عقولها سوف تعتمد على تصميم التفكير الإنساني. سوف تجسد الصفات الإنسانية وسوف تزعم بأنها إنسانية. وسوف نصدقها.

---

**حول فكرة تعدد الوعي هذه، هل كان في استطاعتي أن ألاحظ ذلك ــ أعني إذا كنت قد قررت فعل شيء ومضى الوعي الآخر في عقلي في سبيله وقرر شيئًا آخر؟**

أعتقد أنك قررت عدم الانتهاء من هذه الفطيرة التي التهمتها منذ لحظة.

**هذا صحيح. حسنًا، هل هذا مثال لما تتحدث عنه؟**

إنه مثال أفضل حول «مجتمع العقل» لمارفين منسكي، حيث يثق في عقلنا بصفته مجتمعًا من العقول الأخرى ــ البعض يشبه الفطائر، والبعض متغطرس، والبعض مزدهر الوعي، البعض يتخذ قرارات، ويخربها آخرون. وكل من هؤلاء بدوره مصنوع من مجتمعات أخرى. وفي قاع هذا التسلسل الهرمي القليل من الآليات التي يطلق

عليها منسكي وسائل لا ذكاء لها. إنها رؤية إجبارية لمنظمة ذكاء، تتضمن ظواهر مثل المشاعر المختلطة والقيم المتصارعة.

**يبدو الأمر مثل دفاع قانوني عظيم. «لا، أيها القاضي، لست أنا. لقد كانت هذه البنت الأخرى في مخي هي التي قامت بهذا الفعل!»**

لن يكون في مصلحتك كثيرًا إذا قرر القاضي الحجر على البنت الأخرى في عقلك.

**عندئذ مما يبعث على الأمل أن مجمل المجتمع في عقلي سوف يبتعد عن المشكلة. لكن أي منْ العقول في مجتمع عقلي هو الواعي؟**

يمكننا تخيل أن كل هذه العقول في مجتمع العقل واعية، مع أن الأقل منزلة لديها القليل نسبيًّا لتكون واعية بذلك. أو ربما الوعي محجوز للعقول ذات المنزلة الأعلى. أو ربما مجموعات محددة من العقول ذات المنزلة الأعلى واعية، بينما الأخرى ليست كذلك. أو ربما...

**الآن انتظر لحظة، كيف يمكننا أن نعرف الإجابة؟**

أعتقد أنه ليست هناك طريقة للعلم بذلك. ما هي التجربة التي يمكن أن نجريها لتثبت بصورة قطعية ما إذا كان كيان أو عملية ما تعتبر واعية؟ إذا قال الكيان: «انتبه، أنا واع حقًّا»، هل ينهي هذا الموضوع؟ إذا كان الكيان مجبرًا إلى حد بعيد عندما يعبر عن شعور معلن، هل هذا حاسم؟ إذا نظرنا بتأن إلى مناهجه الداخلية ورأينا حلقات التغذية الخلفية حيث تختبر العملية وتستجيب لنفسها، هل يعني ذلك أنه واع؟ ولو رأينا أنواعًا معينة من الأنماط في إطلاقاته العصبية، هل هذا مقنع؟ يبدو أن فلاسفة معاصرين مثل دانيل دينيه Daniel Dennett يعتقدون أن وعي أي كيان يتميز بقابليته للاختبار والقياس. لكنني أعتقد أن العلم يدور في جوهره حول الحقيقة الموضوعية. ولا أعرف كيف يمكنه اختراق المستوى الذاتي.

**ربما لو أن هذا الشيء نجح في اختبار تورينج؟**

هذا ما كان يفكر فيه تورينج. وللافتقار إلى طريقة محتملة لإنتاج أداة كشف للوعي، استقر على مدخل عملي، مدخل يؤكد على نزعتنا البشرية الفريدة إلى اللغة. وأرى أن تورنج على حق إلى حد ما — إذا استطاعت آلة النجاح في اختبار تورينج بشكل ملزم، أعتقد أننا سوف نصدق أن لديها وعيًا. وبالطبع، يظل ذلك برهانًا غير علمي.

**ومع ذلك، فإن المقترح العكسي ليس إجباريًا. لدى الحيتان والأفيال أمخاخ أكبر من أمخاخنا وتُظهر نطاقًا واسعًا من السلوكيات يعتبرها المراقبون المطلعين ذكاءً. وأنظر إليها باعتبارها مخلوقات واعية، لكنها ليست في وضع تقدر فيه على النجاح في اختبار تورينج.**

ستجد هذه المخلوقات صعوبة في الكتابة على المفاتيح الصغيرة لكمبيوتري.

**حقًا، ليس لديها أصابع. وأيضًا ليست ماهرة في اللغات الإنسانية. من الواضح أن اختبار تورنج مقياس يقوم على مركزية الإنسان human-centric.**

هل هناك علاقة بين جوهر الوعي وقضية الزمن التي تحدثنا عنها سابقًا؟

**نعم، من الواضح أن لدينا إدراكًا للزمن. وتجربتنا الذاتية لمرور الزمن ـ وتذكري أن ذاتي هنا هي مجرد كلمة أخرى تعبر عن الوعي ـ تتحكم فيها سرعة عملياتنا الموضوعية. لو أننا غيرنا هذه السرعة بتغيير ركيزتنا الحسابية، سنؤثر على إدراكنا للزمن.**

أعد ذلك عليّ من جديد.

**دعينا نأخذ مثالًا. لو أنني مسحت مخك وجهازك العصبي بتقنية متقدمة مناسبة وغير إتلافية من بداية القرن الحادي والعشرين ـ ربما تكون بالغة الوضوح، بتصوير رنين مغناطيسي ذي نطاق ترددي عالي ـ تحدد كل عمليات المعلومات البارزة ثم تقوم بتحميل هذه المعلومات إلى كمبيوتري العصبي المتطور المناسب. سوف يكون لدى ما يقترب منك أو على الأقل من شخص يشبهك إلى حد بعيد هنا بالضبط في كمبيوتري الشخصي.**

**لو أن كمبيوتري الشخصي عبارة عن شبكة عصبية لخلايا عصبية تمت محاكاتها مصنوعة من خامة إلكترونية أكثر منها من خامة إنسانية، فإن نسختك في كمبيوتري سوف تنشط بسرعة أكثر مليون مرة. لذلك فإن ساعة بالنسبة لي قد تكون ملايين الساعات بالنسبة إليك، وهو ما يقترب من قرن.**

أووه، هذا عظيم، سوف تفرغني في كمبيوتر شخصي، ثم تنسى ما يخصني لمدة ألفية ذاتية أو ألفيتين.

**يجب أن نهتم بهذا الأمر، هذا ما علينا أن نفعله.**

الفصل الرابع

# نوع جديد من الذكاء على الأرض

## حركة الذكاء الاصطناعي

ماذا لو أن هذه النظريات حقيقية بالفعل، وأننا تقلصنا بصورة سحرية ووُضعنا في مخ شخص ما وهو يفكر، سوف نرى كل المضخات والمكابس والتروس والروافع وهي تعمل دون توقف، وسوف نستطيع وصف عملها وصفًا كاملًا من الناحية الميكانيكية، وبذلك نصف عملية التفكير في المخ وصفًا كاملًا. لكن هذا الوصف لن يحتوي بأي حال على أي ذكر للفكر! فلن يحتوى إلا على وصف للمضخات والمكابس والروافع!

جوتفريد فيلهلم ليبنيز Gottfried Wilhelm Leibniz

يمكن وصف الغباء الاصطناعي AS بأنه سعي علماء الكمبيوتر لخلق برامج تستطيع إحداث مشكلات من النوع الذي يرتبط عادة بالتفكير البشري.

والاس مارشال Wallace Marshal

الذكاء الاصطناعي AI هو علم كيفية جعل الآلات تقوم بالأشياء التي تفعلها في الأفلام السينمائية.

أسترو تلر Astro Teller

## قصة تشارلز وآدا

بالعودة إلى تطور الآلات الذكية، نجد تشارلز بابدج Charles Babbage يجلس في قسم الجمعية التحليلية في كامبردج في ١٨٢١، وأمامه جدول لوغارتمات.

– «بابدج، ما الذي تحلم به؟» سأل عضو آخر وهو يرى بابدج شبه نائم.

– «أفكر في أن كل هذه الجداول يجب حسابها بمعدات آلية!» أجاب بابدج.

منذ تلك اللحظة، كرس بابدج معظم وقته لرؤية غير مسبوقة: أول كمبيوتر في العالم قابل للبرمجة، ومع أن «الآلة التحليلية» لبابدج كانت تقوم بالكامل على التكنولوجيا الميكانيكية للقرن التاسع عشر، فقد كانت إيذانًا بظهور الكمبيوتر الحديث.[١]

نشأت علاقة بين بابدج وآدا لافلاس Ada Lovelace الجميلة، وهي الطفلة الشرعية الوحيدة للشاعر لورد بايرون Lord Byron، واستحوذت فكرة الآلة التحليلية على اهتمامها مثلما استحوذت على اهتمام بابدج، وشاركت في كثير من الأفكار لبرمجة الآلة، بما في ذلك اختراع الحلقة التكرارية للبرمجة والروتين الفرعي. كانت أول مهندسة برمجيات في العالم، بل كانت مهندسة البرمجيات الوحيدة قبل القرن العشرين.

توسعت لافلاس توسعًا كبيرًا في أفكار بابدج، وكتبت بحثًا عن تقنيات البرمجة، ونماذج لبرامج، وتحدثت عن إمكانية محاكاة هذه التكنولوجيا لأنشطة الذكاء الإنساني. وصفت لافلاس افتراضات بابدج وافتراضاتها حول قدرة الآلة التحليلية — والآلات المشابهة لها في المستقبل — على لعب الشطرنج وتأليف الموسيقى، وانتهت إلى أنه مع أن حسابات الآلة التحليلية لا يمكن اعتبارها «تفكيرًا»، فإنها تؤدي أنشطة تحتاج جهدًا كبيرًا من الفكر البشري.

انتهت قصة بابدج ولافلاس نهاية مأساوية، إذ ماتت لافلاس موتًا أليمًا بسبب السرطان في السادسة والثلاثين من العمر، تاركة بابدج وحده من جديد ليتابع بحثه، ولم تكتمل الآلة التحليلية قط على الرغم من تصميماته العبقرية وجهده المضني. وقبيل وفاته قال إنه لم ير قط يومًا سعيدًا في حياته. وشهدت جنازة بابدج في ١٨٧١ قلة من المعزين.[٢]

وما تبقى هي أفكار بابدج، وقد استعار أول كمبيوتر أمريكي قابل للبرمجة — وهو مارك ١ Mark I الذي صممه هاوارد أيكن Howard Aiken خريج جامعة هارفارد بالتعاون مع آي. بي. إم IBM — الكثير من تصميم بابدج، وقال أيكن: «لو أن بابدج عاش خمسًا وسبعين سنة أخرى، لكنت عاطلًا عن العمل».[٣]

كان بابدج ولافلاس مخترعين سبقا زمنهما بنحو قرن، ورغم عجز بابدج عن إنهاء أي من مشروعاته الأساسية، فإن مفاهيمهما حول كمبيوتر له برنامج مخزن،

وشفرة تعديل ذاتي، وذاكرة يمكن استدعاؤها، وتفرع مشروط، وكمبيوتر يبرمج نفسه، لا تزال من أسس الكمبيوترات في الوقت الراهن.[٤]

## من جديد يدخل ألان تورينج

في ١٩٤٠، كان الجزء الأكبر من أوروبا في قبضة هتلر، وكانت إنجلترا تستعد لغزو متوقع، وحشدت الحكومة البريطانية أفضل علماء الرياضيات ومهندسي الكهرباء لديها تحت القيادة الفكرية لألان تورينج من أجل فك الشفرة العسكرية الألمانية. كان من المعروف مع تمتع القوات الجوية الألمانية بالسيطرة الجوية أن الفشل في إنجاز هذه المهمة من المرجح أن يهلك الأمة. وحتى لا يتشتت فكرهم بعيدًا عن مهمتهم، عاشت المجموعة في المروج الهادئة في هارتفوردشاير في إنجلترا.

صنع تورينج وزملاؤه أول كمبيوتر يعمل في العالم من مُرحِّلات الهاتف وأطلقوا عليه اسم روبنسون Robinson،[٥] على اسم رسام معروف للصور المتحركة رسم آلات «روب جولدبرج Rube Goldberg» (وهي آلات مزخرفة ذات آليات كثيرة تفاعلية)، ونجحت الآلة التي صنعتها المجموعة نجاحًا باهرًا، وأتاحت للبريطانيين نسخ كل رسائل النازي المهمة تقريبًا. ومع إضافة الألمان تعقيدًا إلى شفرتهم (بإضافة عجلات إضافية إلى آلة التشفير «اللغز Enigma» لديهم)، استبدل تورينج ذكاء روبنسون الكهرومغناطيسي بنسخة إلكترونية أُطلق عليها كولوساس Colossus، واعتمد في صنعه على ألفي صمام راديو. وعلى نحو متصل أتاح كولوساس وتسع آلات مماثلة تعمل معه على التوازي حل شفرة الاستخبارات العسكرية من أجل الحلفاء.

كان استخدام هذه المعلومات يتطلب كثيرًا من ضبط النفس من جانب الحكومة البريطانية، فلم يكن يجري تحذير المدن التي ستقصفها طائرات النازي، حتى لا يثير ذلك شكوك الألمان في أن شفرتهم قد انكشفت، فكان يراعى في استخدام المعلومات التي يعطيها روبنسون وكولوساس أقصى درجات الحذر، لكن كشف الشفرة كان كافيًا لتمكين القوات الجوية الملكية من الفوز في معركة بريطانيا.

وهكذا نظرًا لمقتضيات الحرب، واعتمادًا على تقاليد ثقافية متنوعة، ظهر نوع جديد من الذكاء على الأرض.

## ميلاد الذكاء الاصطناعي

التماثل بين عملية الحوسبة وعملية التفكير الإنساني لم يكن غائبًا عن تورينج، وبالإضافة إلى تأسيسه للكثير من القواعد النظرية للحوسبة واختراعه لأول كمبيوتر فعَّال، أسهم تورينج في الجهود المبكرة لتطبيق تقنيته الجديدة على محاكاة الذكاء.

في بحثه الكلاسيكي عام ١٩٥٠ تحت عنوان «آلات الحوسبة والذكاء»، وصف تورينج أجندة ستكون الشغل الشاغل للأبحاث المتقدمة طوال نصف القرن التالي: الألعاب الإليكترونية، واتخاذ القرار، وفهم اللغة الطبيعية، والترجمة، وإثبات النظريات، وبالطبع التشفير وحل الشفرات.[٦] لقد كتب (مع صديقه ديفيد شامبرنون David Champernowne) أول برنامج للعب الشطرنج.

كان تورينج في حياته الشخصية مفرط الحساسية ولا يلتزم بالتقاليد السائدة، وكان لديه نطاق واسع من الاهتمامات غير العادية، من الكمان إلى مراحل تطور الجنين. وكانت هناك شائعات عن شذوذه الجنسي، وهو ما كان يزعجه إلى حد بعيد، وتوفي تورينج في عمر الواحد والأربعين، ويشتبه في أنه انتحر.

## الأمور الصعبة كانت سهلة

في عقد الخمسينيات سار التقدم بسرعة كبيرة حتى إن بعض الرواد الأوائل شعروا بأن اكتشاف كيفية عمل المخ البشري لن يكون شديد الصعوبة على أي حال. وفي عام ١٩٥٦ ابتكر الباحثون في الذكاء الاصطناعي ألين نويل Allen Newell و جيه. سي. شو J. C. Shaw وهربرت سيمون Herbert Simon برنامجًا أطلقوا عليه اسم النظري المنطقي Logic Theorist، (وفي ١٩٥٧ في نسخة لاحقة أُطلق عليه البرنامج العام لحل المسائل General Problem Solver)، واستخدمت فيه تقنيات البحث التكراري لحل مسائل في الرياضيات.[٧] والتكرار المستمر كما سنرى لاحقًا في هذا الفصل منهج قوي في تحديد حل بالنسبة لنفسه. وكان برنامجا النظري المنطقي والبرنامج العام لحل المسائل قادرين على التوصل إلى براهين لكثير من النظريات الأساسية لبرتراند راسل Bertrand Russell وألفرد نورث وايتهيد Alfred North Whitehead حول نظرية المجموعات في كتابهما الإبداعي Principia Mathematica،[٨] بما في ذلك برهان مبتكر تمامًا لفرضية مهمة لم تُحل قط من قبل. وأدى هذا النجاح المبكر إلى أن يقول سيمون ونويل في بحث نشراه عام ١٩٥٨ بعنوان Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research

إن «هناك الآن في العالم آلات تفكر وتتعلم وتبتكر، ويضاف إلى ذلك أن قدرتها على القيام بهذه الأمور سوف تزداد بسرعة حتى إنه — في المستقبل القريب — سيصبح نطاق المشكلات التي تتعامل معها متساويًا مع نطاق عمل العقل البشري».[٩] ويستمر البحث ليتنبأ بأنه خلال عشر سنوات (أي في ١٩٦٨) سيكون بطل العالم في الشطرنج كمبيوتر رقمي، وبعد عقد تنبأ سيمون بأنه في عام ١٩٨٥ «ستكون الآلات قادرة على إنجاز أي عمل يستطيع الإنسان إنجازه.» كانت هذه النبوءات بالتأكيد أكثر تفاؤلًا من نبوءات تورينج، وأحرجت مجال الذكاء الاصطناعي الوليد.

ظل هذا المجال مقيدًا بهذا الحرج حتى الوقت الحالي، وظل الباحثون في الذكاء الاصطناعي متحفظين في تكهناتهم منذ ذلك الحين، وفي ١٩٩٧ عندما هزم ديب بلو Deep Blue جاري كاسباروف الذي كان عندئذ بطل العالم في الشطرنج؛ علق أحد الأساتذة البارزين بأن كل ما تعلمناه هو أن لعب بطولة في الشطرنج لا يتطلب ذكاء على أي حال،[١٠] ويعني ذلك أن الوصول إلى ذكاء حقيقي لآلاتنا لا يزال بعيد المنال. وفي حين أنني لا أريد أن أغالي في أهمية انتصار ديب بلو، فإنني أعتقد أننا من هذا المنظور سوف نجد في النهاية أنه ليست هناك أنشطة بشرية تتطلب ذكاءً «حقيقيًّا.»

في الستينيات بدأ المجال الأكاديمي للذكاء الاصطناعي في الإضافة إلى الأجندة التي وضعها تورينج في ١٩٥٠، وجاءت النتائج مشجعة أو محبطة وفقًا لوجهة نظرك، فقد استطاع برنامج «الطالب Student» لدانيل جي. بوبرو Daniel G. Bobrow أن يحل مسائل الجبر الكلامية باللغة الإنجليزية الطبيعية، ويُقال إن أداءه كان جيدًا في اختبارات الرياضيات في المدارس الثانوية.[١١] وجاء نفس الأداء من برنامج Analogy لتوماس جي. إيفانز Thomas G. Evans لحل مسائل القياس الهندسي في اختبارات الذكاء.[١٢] وبدأ مجال النظم الخبيرة ببرنامج DENDRAL الذي صممه إدوارد أيه. فيجينبوم Edward A. Feigenbaum، واستطاع الإجابة عن أسئلة حول المركبات الكيميائية.[١٣] وبدأ فهم اللغة الطبيعية مع برنامج SHRDLU الذي صممه تيري وينوجراد Terry Winograd، واستطاع فهم أي جملة إنجليزية ذات معنى، ما دامت تتحدث عن الوحدات الملونة.[١٤]

ظهرت فكرة ابتكار نوع جديد من الذكاء على الأرض مع حماس كبير وأعمى في الغالب مع ظهور المكونات الإلكترونية التي سيعتمد عليها، وأيضًا أدى الحماس الجامح للرواد الأوائل في هذا المجال إلى انتقاد كبير لهذه البرامج المبكرة لعجزها عن التعامل بذكاء في مجموعة من المواقف، وتنبأ بعض النقاد — وأشهرهم الفيلسوف

الوجودي هيوبرت دريفوس Hubert Dreyfus — بأن الآلات لن توازي أبدًا مستويات مهارة الإنسان في نطاقات تتراوح بين لعب الشطرنج وكتابة كتب عن الكمبيوترات.

وتبين أن المشكلات التي كنا نراها عسيرة — مثل حل النظريات الرياضية، ولعب مباريات شطرنج جيدة، والتفكير المنطقي في مجالات مثل الكيمياء والطب — أمور سهلة، وأن كمبيوترات الخمسينيات والستينيات التي لا تزيد سرعتها عن عدة آلاف من العمليات في الثانية كانت في الغالب كافية لإعطاء نتائج مُرضية، والجوانب العسيرة هي المهارات التي يملكها أي طفل في الخامسة من عمره: التفريق بين الكلب والقطة، أو فهم الرسوم المتحركة. وسوف نستفيض في الحديث عن أسباب صعوبة المشكلات السهلة في الجزء الثاني.

## انتظار ذكاء اصطناعي حقيقي

شهدت الثمانينيات تحول الذكاء الاصطناعي إلى نشاط تجاري مع ظهور موجة من شركات الذكاء الاصطناعي الجديدة وبيع أسهمها للجمهور، وللأسف ارتكب الكثيرون خطأ التركيز على اللغة التفسيرية القوية غير الفعالة بطبيعتها التي تسمى ليسب LISP، التي كانت مألوفة في دوائر الذكاء الاصطناعي الأكاديمية. وأدى الفشل التجاري للغة ليسب وشركات الذكاء الاصطناعي التي غالت في الاهتمام بها إلى رد فعل مضاد، وبدأ مجال الذكاء الاصطناعي ينفصل عن الفروع المكونة له، وتخلت الشركات المتخصصة في فهم اللغة الطبيعية، والتعرف على اللغة المكتوبة والمنطوقة، وعلم الروبوت، والرؤية لدى الآلات، وغيرها من المجالات التي كانت تُعد في الأصل جزءًا من علم الذكاء الاصطناعي؛ عن الانتماء إلى العلامة المميزة لهذا المجال.

غير أن انتشار الآلات ذات الذكاء المركز زاد زيادة كبيرة، وفي منتصف عقد التسعينيات شهدنا اختراق مؤسساتنا المالية بواسطة نظم تستخدم تقنيات إحصائية قوية وقادرة على التكيف، فلم تكن أسواق الأسهم والسندات والعملة والسلع وغيرها من الأسواق تدار بشبكات الكمبيوترات فحسب، بل كانت معظم قرارات البيع والشراء تخضع لبرمجيات تتضمن نماذج معقدة عن الأسواق، والانهيار الذي حدث في سوق الأسهم عام ١٩٨٧ يعود إلى حد بعيد إلى التفاعل السريع لبرامج التداول. والتغيرات التي كان ظهورها يستغرق أسابيع أصبحت تظهر في دقائق. وقد نجحت التعديلات المناسبة لهذه الخوارزميات في تجنب تكرار المشكلة.

منذ ١٩٩٠ أصبح رسم القلب EKG يأتي مرفقًا بتشخيص الكمبيوتر لصحة القلب لدى المريض، وتساعد البرامج الذكية لمعالجة الصورة الأطباء على التحديق بعمق في الأجسام والأمخاخ، وتساهم تقنية الهندسة الحيوية التي تعتمد على الكمبيوترات في تصميم العقاقير باستعمال أجهزة محاكاة للكيمياء الحيوية، واستفاد المعاقون بصورة خاصة من عصر الآلات الذكية، فأجهزة القراءة تعين المصابين بالعمى وعسر القراءة منذ السبعينيات، ومنذ الثمانينيات تساعد أجهزة التعرف على الكلام والروبوتات الأشخاص الذين يعانون إعاقات في الأيدي.

وربما تكون أبرز سمات عصر المعرفة قد ظهرت في المجال العسكري، فقد رأينا المثال الأول الفعلي لزيادة سيطرة ذكاء الآلة في حرب الخليج ١٩٩١. وكانت الأركان الأساسية للقوة العسكرية من بداية التاريخ المسجل وخلال الجزء الأكبر من القرن العشرين — وهي الجغرافيا والقوة البشرية وقوة النيران والدفاعات — قد استبدل بها إلى حد بعيد ذكاء البرمجيات والإلكترونيات، وغيرت مظاهر عصر المعلومات طبيعة الحرب، ومن أمثلة ذلك البحث عن الأهداف باستخدام طائرات بدون طيار، وتوجيه الأسلحة باستخدام رؤية الآلة والتعرف على الأنماط، والاتصالات الذكية وبروتوكولات التشفير، وغير ذلك من مظاهر عصر المعلومات.

## أنواع خفية

مع ازدياد أهمية دور الآلات الذكية في كل أوجه حياتنا — العسكرية، والطبية، والاقتصادية، والمالية، والسياسية — من الغريب أن نظل نقرأ مقالات ذات عناوين مثل: ماذا حدث للذكاء الاصطناعي؟ وهذه ظاهرة تنبأ بها تورينج: أن ذكاء الآلة قد يصبح منتشرًا جدًّا، ومريحًا جدًّا، ومندمجًا بدرجة كبيرة في اقتصادنا القائم على المعلومات إلى حد أن الناس قد لا يلاحظونه.

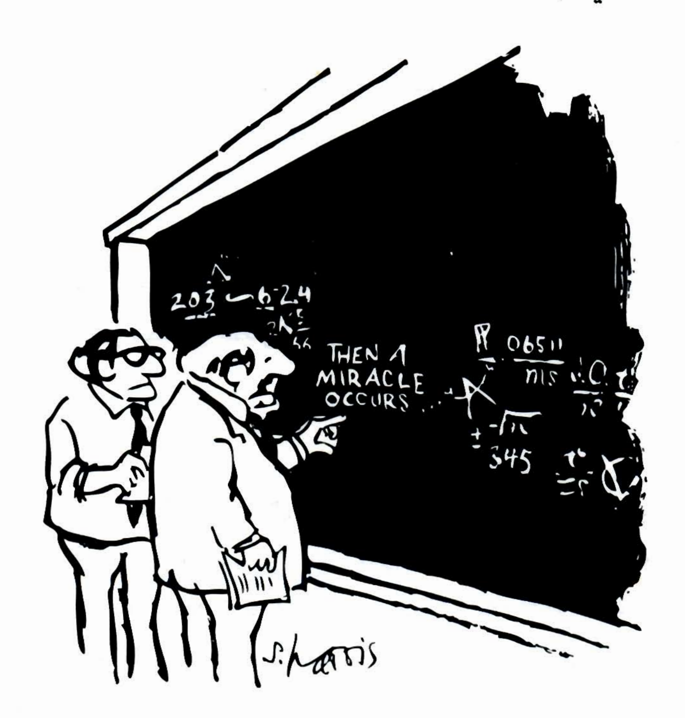
يذكِّرني ذلك بمن يسيرون في غابة مطيرة ويسألون: «أين كل تلك الكائنات الحية المفترض أنها تعيش هنا؟» في حين أن هناك عدة عشرات من أنواع النمل فقط على بعد خمسين قدمًا منهم. اندمجت آلاتنا الذكية اندماجًا شديدًا في غابتنا المطيرة الحديثة حتى كادت تصير خفية.

عرض تورينج تفسيرًا لفشلنا في التعرف على الذكاء في آلاتنا، وكتب عام ١٩٤٧: «المدى الذي ننظر فيه إلى الشيء على أن له سلوكًا ذكيًّا يتأثر بحالتنا الذهنية ومعرفتنا

مثلما يتأثر بخواص الشيء المذكور، فإذا استطعنا تفسير سلوكه والتنبؤ به فلن نميل إلى تخيل أنه يتمتع بالذكاء، لذلك فقد يراه شخص ما ذكيًّا ولا يراه شخص آخر كذلك، فقد اكتشف الشخص الثاني قواعد سلوكه.»

يذكرني ذلك أيضًا بتعريف إلين ريتش Ellaine Rich للذكاء الاصطناعي على أنه «دراسة كيفية جعل الكمبيوترات تفعل أشياء يتفوق عليهم الآن فيها البشر.»

إنه قدرنا كباحثين في مجال الذكاء الاصطناعي ألا نصل أبدًا إلى الجزرة المعلقة أمامنا. يعرف الذكاء الاصطناعي في جوهره بأنه السعي وراء المشكلات الصعبة في علوم الكمبيوتر التي لم تُحل بعد.




«أعتقد أن عليك أن تكون أكثر وضوحًا هنا في الخطوة الثانية.»

## صيغة للذكاء

يخلق مبرمج الكمبيوتر أكوانًا هو المشرع الوحيد لها ... ولم يتمتع كاتب مسرحي ولا مخرج ولا إمبراطور ـــ مهما كانت قوته ـــ قط بهذه السلطة

المطلقة في تنظيم خشبة مسرح أو ميدان معركة، أو بقيادة مثل هؤلاء الممثلين أو الجنود الذين لا يحيدون عن أمره.

جوزيف ويزنبوم Joseph Weizenbaum

القندس وحيوان آخر في الغابة يتطلعان إلى سد هائل من صنع الإنسان، ويقول القندس: «لا، الواقع أنني لم أبنه بنفسي، لكنه يعتمد على إحدى أفكاري.»

إدوارد فريدكين Edward Fredkin

يجب أن تكون الأشياء البسيطة سهلة، والأشياء المعقدة ممكنة.

ألان كاي Alan Kay

**ما الذكاء؟**

قد يكون الهدف هو البقاء؛ الفرار من عدو ما، أو البحث عن الغذاء أو المأوى. وربما يكون الهدف هو التواصل؛ حكاية تجربة، أو إثارة شعور ما. وربما يكون الاشتراك في اللهو؛ مباراة على رقعة، أو حل لغز، أو الإمساك بكرة. وأحيانًا يكون السعي إلى السمو؛ إبداع صورة لفظية، أو كتابة موضوع. قد يكون الهدف واضحًا وفريدًا، كما هو الحال في حل مسألة رياضيات، أو قد يكون تعبيرًا شخصيًّا دون إجابة صحيحة واضحة.

الذكاء في نظري هو القدرة على استخدام الموارد المحدودة على النحو الأمثل — بما في ذلك الوقت — للوصول إلى مثل هذه الأهداف، وهناك عدد هائل من التعريفات الأخرى، وأحد التعريفات المفضلة لديَّ هو تعريف آر. دابليو. يونج R. W. Young الذي يقول إن الذكاء هو «قدرة العقل على إدراك النظام في موقف يعد قبل ذلك في حالة فوضى».[١٥] وسنجد النماذج المذكورة فيما يأتي ملائمة تمامًا لهذا التعريف.

يبتكر الذكاء بسرعة خططًا مُرضية، وأحيانًا مدهشة، لمواجهة عدد من القيود، وقد تكون منتجات الذكاء حاذقة، أو عبقرية، أو نافذة البصيرة، أو أنيقة، وأحيانًا — كما في حالة حل تورينج لكشف شفرة القوات الألمانية — يتسم الحل الذكي بكل هذه الصفات، وقد تُنتج الخدع المتواضعة بالصدفة إجابة ذكية من وقت لآخر، لكن العملية الذكية الحقيقية التي تبتكر بصورة موثوق بها حلولًا ذكية تتجاوز بطبيعتها

كونها مجرد وصفة، ومن الواضح أنه ليست هناك صيغة بسيطة يمكنها محاكاة أقوى ظاهرة في الكون: عملية الذكاء المعقدة والغامضة.

الواقع أن هذا خطأ، فكل ما يحتاجه الأمر لحل نطاق واسع من المسائل الذكية هو بالضبط ما يلي: طرق بسيطة وجرعات ضخمة من الحوسبة (وهي في حد ذاتها عملية بسيطة، كما أوضح تورينج عام ١٩٣٦ في تصوره لآلة تورينج،[١٦] وهي نموذج رائع للحوسبة)، ونماذج من المشكلة، وفي بعض الحالات لا نحتاج حتى إلى هذا الأخير، فعرض واحد واضح للمشكلة سيكون كافيًا.

إلى أي مدى نستطيع أن نصل باستخدام النماذج البسيطة؟ هل هناك فئة من المسائل الذكية يسهل التعامل معها بالأساليب البسيطة، وأخرى تستعصي عليها؟ ويبدو أن فئة المسائل التي يمكن حلها بمقاربات بسيطة فئة واسعة. وفي النهاية، في وجود قوة الحوسبة الكافية (التي ستتوفر لنا في القرن الحادي والعشرين)، وفي وجود الصيغ الصحيحة بالتجميع الصحيح، سيكون هناك القليل من المسائل التي يصعب حلها. ربما باستثناء هذه المسألة: ما هي المجموعة الكاملة للصيغ الموحدة التي تشكل أساس للذكاء؟

حدد التطور إجابة لهذه المسألة في بضعة مليارات من السنوات، ولقد بدأنا بداية جيدة في بضعة آلاف من السنوات، ومن المرجح أن ننهي العمل خلال بضعة عقود.

تلك المناهج الموصوفة باختصار فيما يأتي نناقشها بمزيد من التفصيل في ملحق في نهاية هذا الكتاب بعنوان «كيفية صنع آلة ذكية بثلاثة نماذج سهلة.»

لنلق نظرة على بضعة نماذج واضحة وقوية أيضًا. بقليل من الممارسة تستطيع أنت أيضًا أن تصنع آلات ذكية.

### الصيغة التكرارية: فقط حدّد المشكلة بعناية

الإجراء التكراري هو إجراء يستدعي نفسه، والتكرار المستمر وسيلة مفيدة في إيجاد كل الحلول الممكنة لمسألة ما، أو كل الحركات والحركات المضادة الممكنة في سياق لعبة مثل الشطرنج.

في لعبة الشطرنج ــ على سبيل المثال ــ نضع برنامجًا يسمى «انتق أفضل حركة» لاختيار كل حركة، ويبدأ البرنامج بوضع قائمة بكل الحركات الممكنة من الحالة الراهنة للرقعة، وهنا يأتي التحديد الدقيق للمشكلة، حيث إنه لتوليد كل الحركات

الممكنة نحتاج إلى أن نضع في اعتبارنا بدقة قواعد اللعبة، ولكل حركة يُنشيء البرنامج رقعة افتراضية تعكس ما قد يحدث إذا قمنا بهذه الحركة، ولكل رقعة افتراضية مثل هذه نحتاج إلى أن نضع في اعتبارنا ما قد يفعله خصمنا إذا قمنا بهذه الحركة. وهنا يأتي التكرار المستمر، حيث يطلب برنامج «انتق أفضل حركة» من برنامج «انتق أفضل حركة» (أي من نفسه) اختيار أفضل حركة للخصم، ويضع البرنامج قائمة بكل الحركات القانونية المتاحة لخصمنا.

يستمر البرنامج في الطلب من نفسه، مخططًا للمستقبل كل النقلات التي يكون لدينا الوقت لأخذها في الاعتبار، وينتج عن ذلك جيل من شجرة ضخمة من الحركات والحركات المضادة. هذا مثال آخر للنمو الأسي، لأنه لكي يخطط لنصف حركة أخرى في المستقبل نحتاج لمضاعفة كمية الحسابات المتاحة نحو خمس مرات.

مفتاح الصيغة التكرارية هو تشذيب شجرة الاحتمالات الهائلة، وإيقاف النمو التكراري للشجرة في النهاية. وفي سياق المباراة، إذا بدت الرقعة ميئوسًا منها لكلا الطرفين، يمكن للبرنامج إيقاف التوسع في شجرة الحركات والحركات المضادة عند هذه النقطة (ويطلق عليها «الورقة الطرفية terminal leaf» للشجرة)، ويعتبر آخر النقلات المقترحة احتمالًا للنصر أو الهزيمة.

وعندما تكتمل كل طلبات هذا البرنامج المتداخلة، يكون البرنامج قد حدد أفضل حركة ممكنة للرقعة الحالية الفعلية، في حدود عمق التوسع التكراري الذي كان لديه الوقت ليتتبعه.

كانت الصيغة التكرارية كافية لبناء الماكينة التي هزمت بطل العالم في الشطرنج، وهو كمبيوتر فائق صممته آي بي إم، (مع أن ديب بلو Deep Blue زاد على الصيغة التكرارية بقاعدة بيانات لنقلات من مباريات عمالقة الشطرنج في هذا القرن). منذ عشر سنوات أشرت في كتابي The Age of Intelligent Machines إلى أنه بينما كانت أفضل كمبيوترات الشطرنج ترتقي في تصنيف الشطرنج خمسًا وأربعين نقطة سنويًا، فإن أفضل البشر كانوا يتقدمون بنقاط تقترب من الصفر، وبذلك كان العام المتوقع أن يهزم فيه كمبيوتر بطل العالم هو ١٩٩٨، لكن الهزيمة جاءت في عام ١٩٩٧، وآمل أن تكون نبوءاتي في هذا الكتاب أكثر دقة.[١٧]

تلعب قاعدتنا التكرارية البسيطة مباراة شطرنج على المستوى العالمي، وعندئذ يكون السؤال المنطقي: ما الذي يمكنها أن تفعله غير ذلك؟ يمكننا بالتأكيد استبدال وحدة البرنامج التي تولد نقلات الشطرنج بوحدة مبرمجة بقواعد لعبة أخرى.

وإذا زرعت في عقلك شريحة عليها قواعد لعبة الداما يمكنك أنت أيضًا هزيمة أي شخص. والتكرار المستمر جيد بالفعل في لعبة النرد، فقد هزم برنامج هانز بيرلينر Hans Berliner بطل النرد البشري بالكمبيوترات البطيئة التي تعود إلى عام[١٨] ١٩٨٠.

تتفوق الصيغة التكرارية في الرياضيات كذلك، ويكون الهدف هنا حل مسألة رياضية، مثل إثبات نظرية، وتصبح القواعد عندئذ هي مسلمات المجال الرياضيات المعني بالإضافة إلى النظريــات التي أُثبتت من قبل. والتوسع عند كل نقطة هو المسلمات الممكنة (أو النظريات التي سبق إثباتها) التي يمكن تطبيقها على برهان في كل خُطوة. كان ذلك هو الأسلوب الذي استخدمه ألين نويل، وجيه. سي. شو، وهربرت سيمون في برنامجهم العام لحل المسائل عام ١٩٥٧، وتفوَّق برنامجهم على برنامج راسل ووايتهيد في بعض المسائل الرياضية الصعبة، وزاد بذلك من التفاؤل المبكر في مجال الذكاء الاصطناعي.

قد يبدو من هذه الأمثلة أن التكرار المستمر لا يتناسب إلا مع المسائل التي تتوافر فيها قواعد وأهداف محددة وواضحة، لكنها أيضًا تعد بالكثير في توليد الكمبيوتر للإبداعات الفنية. يستخدم برنامج الشاعر السبراني لراي كيرزويل Ray Kurzweil على سبيل المثال الأسلوب التكراري.[١٩] يضع البرنامج مجموعة أهداف لكل كلمة، محققًا نمطًا إيقاعيًّا معينًا، وبنية للقصيدة، واختيارًا مناسبًا للكلمات في هذا الجزء من القصيدة. وإذا عجز البرنامج عن الوصول إلى كلمة تتناسب مع هذه المعايير، فإنه يعود ويمحو الكلمة السابقة التي كتبها، ويعيد وضع المعايير التي سبق أن وضعها في البداية للكلمة التي محاها للتو، وينطلق من هناك. إذا انتهى ذلك أيضًا إلى طريق مسدود، فإنه يتراجع من جديد. وهكذا يتقدم ويتراجع على أمل أن يتخذ قرارًا في لحظة ما. وفي النهاية يرغم نفسه على اتخاذ قرار بتخفيف بعض القيود إذا أدت كل المسارات إلى طرق مسدودة.

ومع ذلك فلن يعرف أحد أبدًا إن كان يكسر قواعده الخاصة أم لا.

التكرار المستمر شائع أيضًا في برامج التأليف الموسيقي.[٢٠] في هذه الحالة تكون «الحركات» محددة بدقة، ونسميها النغمات، ويكون لها خواص مثل طبقة النغمة، وزمنها، ومستوى الصوت، وأسلوب العزف. الأهداف أقل سهولة في تحقيقها لكنها تظل ممكنة بتعريفها من حيث البنى الإيقاعية واللحنية. ومفتاح البرامج الفنية التكرارية هو كيفية تحديدنا لتقييم الورقة الطرفية، والأساليب البسيطة لا تنجح

دائمًا هنا، وبعض برامج الفن السبراني cybernetic art والموسيقى السبرانية التي سنتحدث عنها لاحقًا تستخدم طرقًا معقدة لتقييم الأوراق الطرفية.

وفي حين أننا لم نحصل بعد على كل ما يخص الذكاء في صيغة بسيطة، فقد أحرزنا تقدمًا كبيرًا بهذه المجموعة البسيطة: التعريف التكراري لحل من خلال العرض الدقيق للمشكلة والحسابات الموسعة. وسيكون الكمبيوتر الشخصي في نهاية القرن العشرين تقريبًا قويًّا بما فيه الكفاية لحل كثير من المسائل.

## الشبكات العصبية: التنظيم الذاتي والحوسبة البشرية

نموذج الشبكة العصبية هو محاولة لمحاكاة التراكيب الحسابية في خلايا المخ البشري. نبدأ بمجموعة من المُدخلات التي تمثل مشكلة مطلوبًا حلها.[٢١] قد يكون المُدخل على سبيل المثال مجموعة من النقاط تمثل صورة نحتاج إلى التحقق منها، وتغذى هذه المدخلات عشوائيًّا إلى طبقة من الخلايا العصبية الاصطناعية، ويمكن أن تكون كل من هذه الخلايا الاصطناعية برنامج كمبيوتر بسيطًا يحاكي نموذج الخلايا العصبية، أو يمكن أن تكون مزروعات إلكترونية.

كل نقطة من المُدخل (على سبيل المثال كل بكسل من الصورة) يتم توصيلها عشوائيًّا بمدخلات للطبقة الأولى من الخلايا الاصطناعية، ولكل وصلة قوة تشابك synaptic strength مصاحبة تمثل أهمية هذه الوصلة. وتوضع هذه القوى أيضًا بقيم عشوائية. يجمع كل عصبون الإشارات التي تأتي إليه. إذا تخطت الإشارة الموحدة عتبة ما، عندئذ يعمل العصبون ويرسل إشارة إلى وصلة مخرجه. يتم توصيل مخرج كل عصبون عشوائيًّا بمدخلات الخلايا العصبية في الطبقة الثانية. وفي أعلى طبقة، يعطي مخرج عصبون أو أكثر — ويتم اختيارها عشوائيًّا أيضًا — الإجابة.

مشكلة ما، مثل صورة حرف مطبوع مطلوب التعرف عليه، يجري تقديمها لطبقة المدخلات، وتنتج خلايا المخرج العصبية إجابة، وتكون الإجابات دقيقة بصورة لافتة للنظر في نطاق واسع من المسائل.

الواقع أن الإجابات ليست دقيقة على الإطلاق، ليس في بادئ الأمر على أية حال، ففي البداية تكون المخرجات عشوائية بالكامل. ماذا تتوقع غير ذلك؟ لاسيما أن النظام بالكامل موضوع بطريقة عشوائية؟

لقد أغفلت خطوة مهمة، وهي أن الشبكة العصبية تحتاج لأن تتعلم المادة العلمية، فالشبكة العصبية — شأنها شأن أمخاخ الثدييات التي صُممت على غرارها — تبدأ جاهلة، ومعلم الشبكة العصبية قد يكون إنسانًا أو برنامج كمبيوتر أو ربما شبكة عصبية أخرى أكثر نضجًا تعلمت بالفعل دروسها، ويكافئ المعلم الشبكة العصبية التلميذة عندما تصيب، ويعاقبها عندما تخطئ. وتستخدم الشبكة العصبية التلميذة هذا التقييم لضبط قوة كل وصلة ما بين الخلايا العصبية، وتصبح الوصلات المتسقة مع الإجابة الصحيحة أقوى، وتصبح تلك التي ناصرت إجابة خاطئة أضعف. وبمرور الوقت تنسق الشبكة العصبية نفسها لتقدم الإجابات الصحيحة دون تدريب، وقد أوضحت التجارب أن الشبكات العصبية يمكنها أن تتعلم موضوع مادتها العلمية حتى مع معلمين غير مهرة، فإذا كان المعلم على صواب خلال ٦٠ بالمائة فقط من الوقت، فسوف تستمر الشبكة العصبية التلميذة في تعلم دروسها.

إذا علَّمنا الشبكة العصبية جيدًا، سيكون هذا النموذج قويًّا ويستطيع محاكاة نطاق واسع من القدرات البشرية على التعرف على الأنماط، وتُستخدم نظم التعرف على أساليب الكتابة شبكات عصبية متعددة الطبقات تقترب من الأداء البشري في التعرف على كتابة باليد تنقصها الدقة.[٢٢] كان من المعتقد منذ وقت طويل أن التعرف على الوجوه البشرية وظيفة إنسانية على وجه الحصر وخارج قدرات الكمبيوتر، ومع ذلك فهناك الآن آلات صرف شيكات أوتوماتيكية، تستخدم برمجيات شبكة عصبية ابتكرتها شركة صغيرة في نيو إنجلاند اسمها ميروس Miros، تتأكد من هوية العميل بالتعرف على وجهه أو وجهها.[٢٣] لا تحاول خداع هذه الآلات بأن تمسك بصورة لشخص آخر فوق وجهك، فالآلة تلتقط صورة لك في الأبعاد الثلاثة باستخدام كاميرتين. ومن الواضح أن الآلات جديرة بالثقة بما يكفي حتى إن البنوك تقبل عن طيب نفس أن تجعل المستخدمين ينصرفون بأوراق نقدية حقيقية.

استُخدمت الشبكات العصبية في التشخيصات الطبية، وباستخدام نظام يسمى BrainMaker من إنتاج شركة California Scientific Software يستطيع الأطباء التعرف بسرعة على النوبات القلبية من بيانات الإنزيمات، وتصنيف خلايا السرطان من الصور. والشبكات العصبية ماهرة أيضًا في التنبؤ، وتستخدم إدارة LBS Capital Management شبكات عصبية BrainMaker للتنبؤ بمؤشر ستاندارد أند بور.[٢٤] وتنبؤاتهم بـ«يوم واحد مسبقًا» و«أسبوع واحد مسبقًا» تتفوق مرارًا وتكرارًا على الطرق التقليدية المعتمدة على المعادلات.

هناك تشكيلة من طرق التنظيم الذاتي تُستخدم في الوقت الراهن تشبه رياضيًّا نموذج الشبكة العصبية السابق ذكره، وإحدى هذه التقنيات يطلق عليها نماذج ماركوف، وهي مستخدمة على نطاق واسع في النظم الآلية للتعرف على الكلام. وحاليًّا يمكن لهذه النظم أن تفهم بشكل دقيق البشر وهم يتكلمون بطريقة طبيعية متصلة بمفردات لغة تصل إلى ستين ألف كلمة.

وفي حين يعتبر التكرار المستمر ذا كفاءة عالية عند البحث خلال مجموعات ضخمة من الاحتمالات، مثل تتالي نقلات الشطرنج، فإن الشبكة العصبية تعتبر أفضل وسيلة للتعرف على الأنماط، والبشر أكثر مهارة بكثير في التعرف على الأنماط منهم في التفكير في التراكيب المنطقية، لذلك فإننا نعتمد على هذه الموهبة في معظم عملياتنا العقلية. وبالفعل يمثل التعرف على الأنماط الجزء الأكبر من دوائرنا العصبية. وتعوض هذه القدرات عن السرعة بالغة البطء للخلايا العصبية البشرية، وزمن إعادة التنشيط العصبي البالغ نحو خمسة مللي ثانية يتيح فقط نحو مائتي عملية حوسبة في الثانية في كل وصلة عصبية.[٢٥] لذلك لا نستطيع الخروج بكثير من الأفكار الجديدة عندما نقع تحت ضغط لاتخاذ قرار. ويعتمد المخ البشري على حساب تحليلاته مسبقًا ويخزنها كمرجع للمستقبل. عندئذ نستخدم قدراتنا على التعرف على الأنماط للتعرف على موقف ما مقارنة بموقف فكرنا فيه من قبل ومن ثم نعتمد على استنتاجاتنا السابقة المدروسة بعناية، ولا نستطيع التفكير في أمور لم نفكر فيها مرات كثيرة من قبل.

### تدمير المعلومات: مفتاح الذكاء

هناك نوعان من تحويلات الحوسبة، نوع تكون المعلومات فيه محفوظة وآخر تكون فيه المعلومات مدمرة، ومثال على الأول ضرب رقم في رقم آخر ثابت غير الصفر، ومثل هذا التحويل انعكاسي: اقسم على الثابت تحصل من جديد على العدد الأصلي. أما إذا ضربنا عددًا ما في صفر، فعندئذ لا يمكن استرجاع المعلومات الأصلية، إذ لا يمكننا القسمة على صفر للحصول على العدد الأصلي من جديد لأن قسمة الصفر على الصفر كمية غير نهائية. لذلك يدمر هذا النوع من التحويل مدخله.

هذا مثال آخر لعدم انعكاسية الزمن (الأول كان قانون زيادة الإنتروبيا) لأنه ليس هناك طريقة لعكس حوسبة تدمير المعلومات.

يتم ذكر عدم انعكاسية الحوسبة كثيرًا كسبب في أن الحوسبة مفيدة: إنها تحول المعلومات بطريقة هادفة أحادية الاتجاه، وعلى الرغم من ذلك فإن سبب عدم انعكاسية الحوسبة يقوم على قدرتها على تدمير المعلومات، وليس على ابتكارها، وقيمة الحوسبة هي على وجه الدقة في قدرتها على تدمير المعلومات على نحو انتقائي. على سبيل المثال، في مهمة تعرّف على نمط مثل التعرف على الوجوه أو الأصوات، فإن حفظ الخواص الحاملة للمعلومات لنمط ما بينما يتم «تدمير» التدفق الضخم لبيانات في الصورة أو الصوت الأصليين يعتبر أمرًا أساسيًّا بالنسبة للعملية. والذكاء على وجه الدقة هو عملية اختيار معلومات ذات صلة مباشرة بالموضوع بعناية حتى يمكنها أن تدمر بمهارة وبشكل هادف بقية المعلومات.

هذا هو بالضبط ما يؤديه النموذج الإرشادي للشبكة العصبية. يستقبل العصبون ـــ بشري أو عصبون آلة ـــ مئات أو آلاف الإشارات المستمرة التي تمثل كمية كبيرة من المعلومات. واستجابة لها، إما أن ينشط العصبون أو لا ينشط، ومن ثم يقلل ثرثرة مدخله إلى بت واحد من المعلومات. وبمجرد أن تصبح الشبكة العصبية مدربة جيدًا، فإن هذا التقليص للمعلومات يكون ذو هدف، ومفيد، وضروري.

نرى هذا النموذج الإرشادي ـــ تقليص تيارات هائلة من المعلومات المعقدة إلى استجابة واحدة بنعم أو لا ـــ في كثير من المستويات في سلوك ومجتمع الإنسان. فكر في التيار الصاخب من المعلومات الذي يتدفق في محاكمة قانونية. مخرجات كل هذا النشاط هي من الناحية الجوهرية بت من المعلومات ـــ مذنب أو غير مذنب، مدعي أو متهم. قد تتضمن المحاكمة القليل من هذه القرارات الثنائية، لكن رأيي لا يتغير. تلك النتائج البسيطة بنعم أو لا تتدفق عندئذ في قرارات وتضمينات أخرى. فكر في انتخاب ما ـــ تجد نفس الشيء ـــ يستقبل كل منا تدفقًا هائلًا من البيانات (ربما لا تكون كلها ذات صلة وثيقة بالموضوع) ويقدم قرارًا من بت واحد: يحتل المنصب أو معترض. ثم يمضي هذا القرار مع قرارات مشابهة من ملايين الناخبين الآخرين ويكون الحساب النهائي مجرد بت واحد من البيانات.

هناك الكثير جدًّا من البيانات الفجة في العالم لا تستحق الاستمرار في حفظها كلها هنا وهناك. لذلك فإننا ندمر باستمرار أغلبها، مع تغذية هذه النتائج إلى المستوى الثاني. وهذه هي العبقرية وراء تنشيط العصبون للكل أو لا شيء.

في المرة القادمة التي تجري خلالها عملية تنظيف شاملة وتحاول أن تتخلص من الأشياء والملفات القديمة، ستعرف سبب أن هذا الأمر بالغ الصعوبة ــ التدمير الهادف للمعلومات هو أصل عمل الذكاء.

## كيف يمكن الإمساك بكرة طائرة

عندما يضرب اللاعب كرة طائرة، فإنها تتبع مسارًا قد يمكن التنبؤ به من خلال المسار الابتدائي، واللف، والسرعة وأيضًا أحوال الريح. ومع ذلك فإن اللاعب المدافع عاجز عن قياس أي من هذه الخواص بطريقة مباشرة وعليه أن يستنتجها من زاوية مراقبته. قد يبدو التنبؤ بالمكان الذي ستذهب إليه الكرة، والمكان الذي سيذهب إليه المدافع أيضًا، في حاجة على الأرجح إلى حل مجموعة هائلة من المعادلات الآنية المعقدة. وتحتاج هذه المعادلات إلى إعادة حساب باستمرار كلما تدفقت بيانات جديدة. كيف لـ«عضوة الرابطة الصغيرة» Little Leaguer ذات العشر سنوات أن تنجز هذه المهمة، بدون كمبيوتر، وبدون آلة كمبيوترة، وبدون قلم أو ورق، ولم تحصل على دراسات في الحساب، ولديها فقط وقت لا يتجاوز بضع ثوان؟

الإجابة أنها لا تستطيع فعل ذلك. إنها تستخدم قدرات شبكاتها العصبية للتعرف على النمط، التي تقدم أساسًا لجزء كبير من تشكيل المهارة. كان لدى الشبكات العصبية لمن عمرها عشر سنوات كمية كبيرة من الممارسة في مقارنة الطيران المرصود للكرة مع أنشطتها الخاصة. وبمجرد تعلمها للمهارة، تصبح هذه المهارة طبيعة ثانية لديها، أي أنها ليس لديها فكرة عن كيفية قيامها بذلك. لقد اكتسبت شبكاتها العصبية كل نفاذ البصيرة المطلوب: التراجع خطوة إلى الوراء إذا ارتفعت الكرة فوق مجال رؤيتي، والتقدم خطوة إلى الأمام إذا كانت الكرة تحت مستوى محدد في مجال رؤيتي ولن ترتفع بعد ذلك، وهكذا دواليك. لا يحسب اللاعب البشري معادلات بشكل عقلي. وليس هناك أي من عمليات الحوسبة هذه في لاوعي مخ اللاعب. وما يحدث هو التعرف على النمط، وهو أساس أغلب الفكر البشري.

أحد مفاتيح الذكاء هو معرفة ما لا يجب حسابه. والشخصية الناجحة ليست بالضرورة أفضل من أندادها الأقل نجاحًا في حل المشاكل، وبتسهيلات تعرّفها على النمط تدرك ببساطة نوع المشاكل التي تستحق الحل.

## بناء شبكات السليكون

تحاكي أغلب تطبيقات الشبكة العصبية المعتمدة على الكمبيوتر في الوقت الراهن نماذج عصبوناتها في البرمجيات، ويعني هذا أن الكمبيوترات تحاكي عملية موازية كثيفة في آلة تقوم فقط بعملية حوسبة واحدة في نفس الوقت، وبرمجيات الشبكة العصبية التي تقوم حاليًّا بتشغيل كمبيوترات شخصية رخيصة يمكنها محاكاة نحو مليون عملية حوسبة لوصلة عصبون في الثانية، وهو أبطأ مليار مرة من المخ البشري (رغم أننا يمكننا تحسين هذا الرقم كثيرًا بالتشفير المباشر في لغة آلة الكمبيوتر). ومع ذلك فإن البرمجيات التي تستخدم النموذج الإرشادي للشبكة العصبية في الكمبيوترات الشخصية في نهاية القرن العشرين تقريبًا ستقترب كثيرًا من التماثل مع قدرة الإنسان في مهام مثل التعرف على مادة مطبوعة، وكلام، وأوجه.

وهناك نوع من عتاد الكمبيوتر العصبي تم جعله أقرب ما يكون من الكمال لتشغيل الشبكات العصبية. وهذه النظم متوازية ببساطة، وليس بكثافة، وهي أسرع بنحو ألف مرة من برمجيات الشبكة العصبية للكمبيوتر الشخصي. وهو ما يظل أبطأ مليون مرة من مخ الإنسان.

هناك جماعة بارزة من الباحثين تخطط لبناء شبكات عصبية بالطريقة التي تخطط بها الطبيعة: التوازي بكثافة، مع تخصيص كمبيوتر صغير لكل عصبون. ويصنع مختبر أبحاث الاتصال المتطور عن بعد ATR، وهو مرفق مهيب في طوكيو، في اليابان، مثل هذا المخ الاصطناعي بمليار عصبون إلكتروني. ويمثل ذلك نحو ١ بالمائة من العدد الموجود في مخ الإنسان، لكن هذه العصبونات سوف تعمل بسرعات إلكترونية، وهي أسرع مليون مرة من العصبونات البشرية. ولذلك سوف تكون السرعة الكلية للحوسبة في هذا المخ الاصطناعي أكبر آلاف المرات من المخ الإنساني. ويأمل هوجو دي جاريس Hugo de Garis، مدير جماعة بناء المخ في المختبر، في تعليم مخه الاصطناعي أسس اللغة البشرية ثم بعد ذلك يترك الجهاز للقراءة بحرية ــ بسرعات إلكترونية ــ في الأدب الذي يثير اهتمامه والموجود على شبكة المعلومات العالمية.[٢٦]

هل يماثل نموذج العصبون البسيط الذي نناقشه هنا طريقة عمل العصبونات البشرية؟ الإجابة نعم ولا. فمن جانب، تعتبر العصبونات البشرية أكثر تعقيدًا وأكثر تنوعًا من النموذج المقترح. ويتم التحكم في قوى الوصلات بناقلات عصبية متعددة ولا يتميز بشكل كاف بعدد واحد. ليس المخ عضوًا واحدًا، لكنه مجموعة من مئات أعضاء معالجة المعلومات المتخصصة، كل منها له تركيب تشريحي وتنظيمات مختلفة. ومن

جانب آخر، عندما نبدأ في فحص الخوارزميات المتوازية وراء التنظيم العصبي في المناطق المختلفة، نجد أن الكثير من تعقد تصميم وبنية العصبون له علاقة بتدعيم عمليات حياة العصبون وليس على علاقة مباشرة بطريقة تعامله مع المعلومات. وطرق الحوسبة البارزة تعتبر مباشرة نسبيًّا، رغم تغيرها. وعلى سبيل المثال، شريحة الرؤية التي طورها الباحث كارفر ميد Carver Mead يبدو أنها تلتقط بشكل واقعي المراحل الأولى من المعالجة الإنسانية للصورة.[٢٧] ورغم أن مناهج هذه الشريحة أو الشرائح الأخرى المشابهة تختلف في عدد من الجوانب عن النماذج العصبية التي سبقت مناقشتها فإن هذه المناهج يمكن فهمها وتستخدم بالفعل في السليكون. وسوف يمثل تطوير كاتالوج عن النماذج الأساسية التي تستخدمها الشبكات العصبية في مخنا — وكل منها سهل نسبيًّا بطريقته الخاصة — تقدمًا كبيرًا في فهمنا للذكاء الإنساني وفي قدرتنا على إعادة ابتكاره والتفوق عليه.

ويحفز مشروع البحث عن ذكاء خارج الأرض SETI فكرة أن التعرض لتصميمات ذكية لكيانات ذكية تطورت في مكان آخر سوف يتيح مصدرًا هائلًا لتطوير فهم علمي.[٢٨] لكن لدينا جزءًا من الفهم مثير للشفقة وهزيل لمعدات آلية ذكية هنا على الأرض. مثل هذا الكيان — مؤلف هذا الكتاب — ليس على بعد أكثر من ثلاثة أقدام من كمبيوتر حيث أملي عليه هذا الكتاب.[٢٩] ويمكننا — وسوف يحدث ذلك — أن نتعلم الكثير بالغوص في أسراره.

## خوارزميات تطورية: تسريع التطور مليون مرة

ها هي معلومة مفيدة للاستثمار: قبل أن تستثمر في شركة تأكد من أنك قد فحصت سجل أداء الإدارة، واستقرار ميزانيتها العمومية، وتاريخ أرباح الشركة، والاتجاهات الصناعية المتصلة بنشاط الشركة، وآراء محلل أنظمة. للوهلة الأولى، ذلك عمل بالغ الضخامة. إليك مدخل أكثر بساطة:

أولًا قم بصورة عشوائية بتوليد (في كمبيوترك الشخصي بالطبع) مليون مجموعة من القواعد لاتخاذ القرارات. كل مجموعة من القواعد عليها أن تحدد مجموعة محفزات لشراء أو بيع بضائع في المخزن (أو أي ضمان آخر) قائمة على بيانات مالية. ليس ذلك صعبًا، حيث إن كل مجموعة قواعد لا تحتاج إلى كثير من الفهم. ثبت كل مجموعة قواعد في برمجيات محاكاة «كائن حي» مع القواعد وقد تم تشفيرها على هيئة «كروموسوم»

رقمي. والآن قم بتقييم كل كائن تمت محاكاته في بيئة مختلقة باستخدام بيانات مالية من العالم الحقيقي ــ سوف تجد الكثير منها على الشبكة العالمية للمعلومات. اجعل كل برمجيات كائن حي تستثمر بعض المال الناتج عن المحاكاة وانظر كيف يتدبر أمره اعتمادًا على البيانات التاريخية الفعلية. اسمح لمن توصل إلى ما هو أفضل من المتوسطات الاصطناعية بالبقاء في الجيل التالي. اقض على البرمجيات الأخرى (آسف). والآن لديك كل البرمجيات التي بقيت وهي تضاعف نفسها حتى نعود من جديد لمليون من هذه الكائنات. وخلال تكاثرها، اسمح بحدوث بعض الطفرات (تغير عشوائي) في الكروموسومات. حسنًا، هذا جيل واحد من التطور الناتج عن المحاكاة. والآن كرر هذه الخطوات من أجل مائة ألف جيل آخر. وفي نهاية العملية، ستكون كائنات البرمجيات الباقية مستثمرين أذكياء ملعونين. وفي نهاية الأمر، لقد بقيت مناهجها على قيد الحياة خلال مائة ألف جيل من التشذيب التطوري.

في العالم الحقيقي، يعتقد عدد من المسئولين عن رءوس الأموال الاستثمارية الناجحة أن «الكائنات» الباقية على قيد الحياة من مجرد مثل هذا التطور الناتج عن المحاكاة أكثر ذكاء ممن هم مجرد محللي النظم المالية البشر. قامت «ستيت ستريت للاستشاريين العالمية State Street Global Advisors»، التي تدير ٣,٧ تريليون دولار في الصناديق الاستثمارية، باستثمارات أساسية في تطبيق كل من الشبكات العصبية والخوارزميات التطورية لاتخاذ قرارات الشراء والبيع. وهذا يتضمن مجازفة أفضلية في استثمار التقنيات المتطورة، التي تدير رأس مال ناجح حيث قرارات الشراء والبيع يتخذها برنامج يجمع بين هذه الطرق.[٣٠] وتوجه التقنيات التطورية وما يرتبط بها من تقنيات رأس مال من ٩٥ مليار دولار تديره «باركليز للاستشاريين العالمية Barclays Global Investors»، إضافة إلى رؤوس الأموال التي تديرها إدارة Fidelity and PanAgora Asset Manegement.

يُطلق على النموذج السابق خوارزمية تطورية evolutionary algorithm (ويسمى أحيانًا وراثيًّا genetic).[٣١] لم يبرمج مصممو النظام حلًّا مباشرًا، ويدعون أحد الحلول يظهر من خلال عملية تكرارية لتنافس وتطور مختلقين. لنتذكر أن التطور ذكي لكنه بطيء، لذلك لحث ذكائه نحافظ على نفاذ بصيرته بينما نجعل خطواته المملة تتسارع إلى حد بعيد. والكمبيوتر لديه القدرة الكافية لمحاكاة آلاف الأجيال فيما يتعلق بالساعات والأيام والأسابيع. لكن علينا فقط أن نقوم بهذه العملية التكرارية مرة

واحدة. وبمجرد تركنا لهذا التطور الناتج عن المحاكاة ليأخذ مجراه، يمكننا تطبيق القواعد المتطورة وعالية التشذيب على المشاكل الحقيقة بطريقة سريعة.

ومثل الشبكات العصبية، تعتبر الخوارزميات التطورية طريقة لتوجيه الأنماط التي تكون مبهمة لكنها عميقة والموجودة في بيانات الشواش. والمصدر الأساسي المطلوب هو مصدر لأمثلة كثيرة حول المشكلة المطلوب حلها. وبالنسبة للعالم المالي، ليس هناك بالتأكيد نقص في معلومات الشواش — كل ثانية في التجارة متاحة على الخط مباشرة.

والخوارزميات التطورية بارعة في التعامل مع المشاكل التي لا يكون فيها الكثير جدًا من المتغيرات لحساب حلول تحليلية دقيقة. يتضمن تصميم المحرك النفاث، على سبيل المثال، أكثر من مائة متغير ويتطلب الخضوع لعشرات القيود. والخوارزميات التطورية المستخدمة بواسطة الباحثين في جنرال إلكتريك استطاعت التوصل إلى تصميمات للمحرك تتناسب مع القيود الأكثر دقة من الطرق التقليدية.

ويتم استخدام الخوارزميات التطورية، وهي جزء من مجال نظرية الشواش والتعقد، بشكل متزايد لحل، بالإضافة إلى ذلك، مشاكل مجال الأعمال صعبة المراس. طبقت جنرال موتورز خوارزمية تطورية لتلائم طلاء سياراتها، وهو ما قلل من التكلفة العالية للانتقال من لون إلى آخر (حيث جعل مقصورة الدهان غير صالحة لتغيير لون الدهان) بنسبة ٥٠ بالمائة. وتستخدم فولفو هذه الخوارزميات لتخطيط برامج المواعيد المتشابكة لصناعة كابينة الشاحنة فولفو ٧٧٠. وتستخدم سيميكس Cemex — شركة أسمنت يبلغ رأسمالها ٣ مليارات دولار — أسلوبًا مماثلًا لإدارة عمليات التسليم المعقدة. ويحل هذا الأسلوب بصورة متزايدة محل الطرق الأكثر تحليلية في جميع مجالات الصناعة.

وهذا النموذج الإرشادي بارع أيضًا في التعرف على الأنماط. وبحسب ما يقال فإن الخوارزميات الوراثية المعاصرة التي تتعرف على بصمات الأصابع، والأوجه، وأسلوب الكتابة اليدوية، تتفوق على مقاربات الشبكة العصبية. وهي أيضًا طريقة معقولة لكتابة برمجيات الكمبيوتر، خاصة البرمجيات التي تحتاج إلى التوصل إلى توازنات دقيقة لمصادر الحوسبة. وأحد الأمثلة المشهورة هو ويندوز ٩٥ لميكروسوفت، الذي يحتوي على برمجيات لموازنة مصادر النظام التي تطورت بشكل أفضل من تلك المكتوبة مباشرة بواسطة مبرمجين بشريين.

مع الخوارزميات التطورية، يجب أن تكون حذرًا في ما تسأل عنه. يذكر جون كوزا John Koza برنامجًا تطوريًا طُلب منه أن يحل مسألة تتضمن ترتيب مكعبات صغيرة. طور البرنامج حلًّا يناسب تمامًا كل شروط المسألة، باستثناء أنها تتضمن ٢٣١٩ حركة مكعب، وهو ما يتخطى كثيرًا ما تم تنفيذه عمليًا. من الواضح أن مصممي البرنامج نسوا النص على أن الإقلال من عدد حركات المكعبات كان مفضلًا. ويعلق كوزا قائلًا: «البرمجة الوراثية تعطينا بالضبط ما نطالبها به، لا أكثر ولا أقل.»

## التنظيم الذاتي

تعتبر الشبكات العصبية والخوارزميات التطورية طرق لـ «ظهور» التنظيم الذاتي لأن النتائج غير قابلة للتنبؤ بها وتكون غالبًا بالفعل مفاجئة لمصممي هذه النظم البشر. وأن تستمر عملية برامج التنظيم الذاتي هذه في حل المسألة يعتبر في الغالب أيضًا غير قابل للتنبؤ به. على سبيل المثال، قد تستمر شبكة عصبية أو خوارزمية تطورية في مئات التكرارات لتصل ظاهريًّا إلى تقدم قليل، ثم فجأة ــ كما لو أن العملية لديها ومضة إلهام ــ تتضح الأمور ويظهر الحل بسرعة.

وبشكل متزايد، سنصنع آلاتنا الذكية بتقسيم مشاكل صعبة (مثل فهم اللغة البشرية) إلى مهام فرعية أصغر، لكل منها بمفرده برنامج تنظيم ذاتي. وسوف يكون لنظم الظهور على طبقات هذه نهاية أكثر نعومة على حدود خبرتها وسوف تُظهر مرونة أكثر في التعامل مع الغموض المتأصل في العالم الحقيقي.

## طبيعة التصوير التجسيمي للذاكرة البشرية

الضالة المنشودة في مجال اكتساب المعرفة هي أتمتة عملية التعلم، وترك الآلات تخرج إلى العالم (أو، بالنسبة للمبتدئين، تخرج إلى شبكة المعلومات العالمية) وتجمع المعلومات بنفسها. وهذا من الناحية الأساسية ما تسمح به مناهج ــ الشبكات العصبية، الخوارزميات التطورية وأبناء عمومتها الرياضية ــ «نظرية الشواش.» وبمجرد أن تصل هذه المناهج إلى الحل الأفضل، تقوم أنماط الوصلة العصبية بتقوية أو تطوير كروموسومات رقمية تمثل نوعًا من المعرفة مطلوب تخزينه للاستخدام في المستقبل.

ومع ذلك فإن هذه المعرفة من الصعب تفسيرها. تتكون المعرفة المطمورة في برمجيات شبكة عصبية والتي تم تدريبها على التعرف على الأوجه البشرية، من شبكة

طوبولوجيا ونمط قوى الوصلة العصبية. إنها تقوم بعمل ضخم للتعرف على وجه سالي، لكن ليس هناك شيء واضح يفسر أنها كانت غير قابلة للتعرف عليها بسبب عينيها الغائرتين وأنفها المتقلص المرفوع إلى أعلى. يمكننا تدريب شبكة عصبية على التعرف على الحركات الجيدة للشطرنج في منتصف المباراة، لكنها بالمثل تكون عاجزة عن شرح حججها التي استخدمتها في التفكير.

ونفس الشيء صحيح بالنسبة للذاكرة البشرية. ليس هناك بنية بيانات صغيرة في مخنا تسجل طبيعة مقعد باعتباره سطحًا أفقيًا بأعمدة متعددة رأسية ومسند خلفي إضافي للظهر. وبدلًا من ذلك يتم بإسهاب تمثيل عدة آلاف من خبراتنا بالمقاعد في شبكاتنا العصبية. ونعجز عن استعادة كل تجربة حدثت لنا مع مقعد ما لكن كل مقابلة تركت تأثيرها على نمط قوى وصلة الخلية العصبية بما يعكس معرفتنا بالمقاعد. وبالمثل ليس هناك موقع محدد في مخنا حيث يتم تخزين وجه صديق لنا. ويتم تذكره كنمط منتشر من القوى المشبكية.

ورغم أننا لا نعرف بعد الآليات الدقيقة المسئولة عن الذاكرة البشرية — ومن المرجح أن تصميمها يختلف من منطقة في المخ إلى أخرى — فإننا نعرف أنه بالنسبة لأغلب الذاكرة البشرية، تكون المعلومات موزعة في كل منطقة المخ المحددة. إذا كنت قد لعبت من قبل بمصور تجسيمي hologram، سوف تقدر منافع الطريقة المنتشرة لتخزين وتنظيم المعلومات. المصور التجسيمي جزء من فيلم يحتوي على نمط تداخل ناتج عن التفاعل بين مجموعتين من الموجات الضوئية. تأتي جبهة موجة من المشهد المضاء بضوء ليزر، والثانية تأتي مباشرة من نفس الليزر. إذا قمنا بتشغيل مصور تجسيمي، فإنه يعيد تكوين جبهة موجة الضوء التي تكون مطابقة لموجات الضوء الآتية من الموضوعات الأصلية. والانطباع هو أننا نرى المشهد الأصلي في الأبعاد الثلاثة. وفيما لا يشبه الصورة العادية، إذا تم قطع مصور تجسيمي إلى نصفين، لا نجد نصف الصورة، لكن يظل لدينا الصورة كاملة، بالرغم من أن كثافتها النقطية صفر. لو أنك خدشت مصورًا تجسيميًا، من المفترض ألا يكون لذلك تأثير لأن الكثافة النقطية تكون قد انخفضت بمقدار تافه. ولا تُرى أية خدوش في صورة الأبعاد الثلاثة التي يُعاد تكوينها التي ينتجها المصور التجسيمي المخدوش. ويتضمن ذلك أن الهولوجرام يفسد برشاقة.

ويعتبر نفس الشيء صحيحًا بالنسبة للذاكرة البشرية. نفقد آلافًا من الخلايا العصبية كل ساعة، لكن ذلك من المفترض ألا يكون له تأثير بسبب طبيعة التوزيع الواسع

لكل عملياتنا العقلية.[٣٢] وليس لأي من خلايا مخنا الفردية كل هذه الأهمية ــ ليس هناك خلية عصبية في وظيفة مدير تنفيذي.

وتضمين آخر في تخزين ذاكرة باعتبارها نمطًا موزعًا هو أن لدينا القليل من الفهم أو لا فهم إطلاقًا لكيفية أدائنا لأغلب مهامنا ومهاراتنا في المعرفة. عندما نلعب بيسبول، نشعر بأن علينا أن نرجع إلى الخلف عندما ترتفع الكرة فوق مجال رؤيتنا، لكن أغلبنا يعجز عن تنسيق هذه القاعدة الضمنية المشفرة بشكل مبعثر في شبكتنا العصبية للإمساك بكرة طائرة.

هناك عضو مخ واحد تم جعله أقرب ما يكون إلى الكمال لفهم وتنسيق العمليات المنطقية، وهو الطبقة الخارجية من المخ، والذي يطلق عليه القشرة الدماغية cerebral cortex. وفيما لا يشبه بقية المخ، فإن هذا الجزء حديث التطور نسبيًّا مسطح إلى حد ما، وسمكه نحو ثمن بوصة فقط، ويحتوي على مجرد ٨ مليون عصبون.[٣٣] ويتيح لنا هذا العضو المستفيض في الطيات هذه الكفاءة القليلة التي نملكها لفهم ما نفعله وكيفية فعلنا له.

وهناك مجادلة في الوقت الراهن حول الطرق المستخدمة بواسطة المخ للحفظ طويل المدى في الذاكرة. بينما تبدو انطباعاتنا الحسية الحالية وقدراتنا ومهاراتنا الراهنة على المعرفة الفعالة مشفرة في نمط موزع للقوى المشبكية، فإن ذكرياتنا بعيدة المدى قد تكون مشفرة كيميائيًّا إما في الحامض النووي الريبي (الرنا RNA) أو الببتيدات، وهي مواد كيميائية مشابهة للهرمونات.

حتى لو أن هناك تشفيرًا كيميائيًّا لذكريات المدى البعيد، فإنها مع ذلك تشارك فيما يبدو في الخواص الأساسية للتصوير التجسيمي لعملياتنا العقلية الأخرى.

بالإضافة إلى صعوبة فهم وتفسير الذكريات والأفكار التي تتمثل فقط باعتبارها أنماطًا موزعة (وهو صحيح بالنسبة لكل من الإنسان والآلة)، فإن تحديًا آخر يتطلب تجاربًا يتم التعلم منها. بالنسبة للبشر، تلك مهمة مؤسساتنا التعليمية. بالنسبة للآلات، فإن ابتكار البيئة الصحيحة للتعلم يعتبر أيضًا تحديًا رئيسيًّا. على سبيل المثال، في عملنا في كيرزويل للذكاء التطبيقي (وهي جزء الآن من منتجات الكلام للرنو وهوسبي Lernout & Hauspie) في تطوير تمييز للكلام قائم على الكمبيوتر، سمحنا للنظم بتعلم أنماط الكلام واللغة بنفسها، لكننا احتجنا إلى إمدادها بآلاف كثيرة من ساعات الكلام البشري المسجل وملايين الكلمات من نصوص مكتوبة حتى تكتشف

بنفاذ بصيرتها.[٣٤] وإتاحة ذلك لتعليم الشبكة العصبية يعتبر عادة هو المهمة الهندسية المطلوبة الأكثر إجهاد.

---

**أرى من الملائم أن ابنة أحد أعظم الشعراء الرومانسيين كانت أول مبرمج كمبيوتر.**

نعم، ولقد كانت أيضًا أحد أوائل من فكروا في قدرة الكمبيوتر على ابتكار فن بالفعل. لقد كانت بالتأكيد أول من فعل ذلك مع بعض التكنولوجيا الحقيقية في التفكير.

**تكنولوُجيا لم تعمل أبدًا.**

لسوء الحظ، هذا صحيح.

**بالنسبة للتكنولوجيا، قلت أن الحرب هي أب حقيقي للاختراع — كمية كبيرة من التكنولوجيات أصبحت مكتملة باستعجال خلال الحرب العالمية الأولى والثانية.**

بما في ذلك الكمبيوتر. ولقد غيَّر ذلك مسار المسرح الأوروبي في الحرب العالمية الثانية.

**ومن ثم هل هذا هو الجانب البراق في كل المذبحة؟**

لم ير محطمو الآلات الأمر بهذه الطريقة. لكن يمكنك أن تقولي ذلك، على الأقل إذا كنت ترحبين بهذا التقدم السريع في التكنولوجيا.

**محطمو الآلات؟ لقد سمعت عنهم.**

نعم، كانوا أول حركة منظمة معارضة لتكنولوجيا الميكنة للثورة الاصطناعية. بدا من الواضح لهؤلاء النساجين الإنجليز أنه، مع هذه الآلات الجديدة التي تتيح لعامل واحد أن ينتج مخرجات أكثر من نحو عشرة عمال أو أكثر بدون آلات، ستتمتع بالتوظيف قريبًا النخبة الصغيرة فقط. لكن الأمور لم تحدث بهذه الطريقة. وعلى الأصح فإن إنتاج نفس كمية المواد المنسوجة بقوة عاملة أصغر بكثير، أدى إلى زيادة الطلب على الملابس عن العرض. ولم تعد الطبقة المتوسطة النامية راضية بتملك قميص أو اثنين. والرجل العادي والمرأة العادية أصبح في استطاعتهما حينئذ الحصول على ثياب جيدة الصنع لأول مرة. اندفعت صناعات جديدة إلى التصميم، والإنتاج بطرق ميكانيكية، ودعم الآلات الجديدة، وتكوين عمالة من النوع الأكثر دقة. لذلك فإن الازدهار الناتج، مع التحكم بالقمع من السلطات الإنجليزية، أخمد حركة محطمي الآلات.

**أليس محطمو الآلات هنا وهناك؟**

استمرت الحركة موجودة كرمز لمعارضة الآلات. حتى الآن، ظلت غير ملائمة إلى حد ما للأساليب الحديثة بسبب المعرفة واسعة الانتشار لفوائد الأتمتة. ومع ذلك فإنها بقيت غير بعيدة تحت السطح وسوف تعود بعنف وقوة في بداية القرن الحادي والعشرين.

**لديهم وجهة نظر، أليس كذلك؟**

بالتأكيد، لكن المعارضة التلقائية للتكنولوجيا ليست مثمرة إلى حد بعيد في عالم اليوم. ومع ذلك من المهم إدراك أن التكنولوجيا قوة. علينا أن نطبق قيمنا الإنسانية على استخدامها.

**يذكرني ذلك بـ «المعرفة قوة» للاو تسو *Lao-Tzu*.**

نعم، التكنولوجيا والمعرفة متشابهان جدًّا ـ يمكن التعبير عن التكنولوجيا باعتبارها معرفة. ومن الواضح أن التكنولوجيا تتضمن القوة ومن نواح أخرى قوى شواش. وحيث إن الحرب هي صراع من أجل القوة، ليس من المدهش أن التكنولوجيا والحرب مترابطان.

بالنسبة لقيمة التكنولوجيا، فكري في التكنولوجيا المبكرة للنار. هل النار شيء جيد؟

**إنها عظيمة إذا كنت ترغب في تحميص بعض الحلوى الهشة المرشوشة بالسكر.**

بالفعل، لكنها لن تكون بهذه العظمة إذا حرقت يدك، أو أشعلت النار في غابة.

**ألم تكن أحد المتفائلين؟**

تم اتهامي بذلك، وربما يفسر تفاؤلي إيماني الكامل بقدرة البشرية على التحكم في القوى التي نطلق لها العنان.

**الإيمان؟ ألم تقل أن علينا فقط الاعتقاد في الجانب الإيجابي في التكنولوجيا؟**

أعتقد أنه سيكون من الأفضل لو أننا جعلنا الاستخدام البناء للتكنولوجيا هدفًا أكثر من كونه اعتقادًا.

**يبدو الأمر كما لو أن مناصري التكنولوجيا ومحطمي الآلات متفقين على نفس الشيء، التكنولوجيا يمكن أن تكون مفيدة وضارة.**

هذا ممكن، إنها على الأصح توازن مرهف.

**قد لا يظل على هذا الرهافة إذا كان هناك حظ سيء في جوهره.**

نعم، قد يجعلنا ذلك متشائمين جميعًا.

**والآن، تلك النماذج للذكاء ـ أليست في الحقيقة بالغة البساطة؟**

نعم ولا. وجهة نظري حول البساطة أنه يمكننا أن ننطلق بعيدًا في الحصول على الذكاء بمقاربات بسيطة. أجسامنا وأمخاخنا تم تصميمها باستخدام نموذج بسيط ــ التطور ــ وبضع مليارات من السنين. وبالطبع عندما ينجح مهندسونا في زراعة هذه الطرق البسيطة في برامج كمبيوتراتنا، سوف نتدبر جعلها معقدة من جديد. لكن ذلك فقط هو نقص الضبط والدقة العلمية لدينا.

يظهر التعقد الحقيقي عندما تواجه طرق التنظيم الذاتي هذه شواش العالم الواقعي. إذا أردنا صناعة آلات ذكية حقًا سوف يُظهر ذلك في النهاية قدرتنا البشرية على تشكيل المواد في تنوع كبير من السياقات، عندئذ نحتاج إلى أن نصنع مع بعض المعرفة بتعقدات العالم.

**حسنًا، دعنا نكن عمليين للحظة. برامج الاستثمار القائمة على التطور هذه، هل هي حقًا أفضل من الناس؟ أعني، هل عليَّ أن أتخلص من سمسارة أسهمي، ولا يكون لدى ثروة ضخمة أو أي شي؟**

كما في هذا العمل المكتوب، إنه سؤال يدور حوله خلاف. من الواضح أن سماسرة الضمان والمحللين لا يفكرون بهذه الطريقة. هناك تمويلات كثيرة ضخمة هذه الأيام تستخدم الخوارزميات الوراثية وما يرتبط بها من تقنيات رياضية يتضح أنها تتفوق على أكثر التمويلات تقليدية. يقدر المحللون أنه في ١٩٩٨ سوف يتم اتخاذ قرارات الاستثمار لــ ٥ بالمائة من استثمارات الأسهم، ونسبة أكبر من الأموال المستثمرة في أسواق المشتقات، بهذا النوع من البرامج، مع زيادة سريعة في هذه النسبة المئوية. ولن يستمر الجدال لأنه سيكون من الواضح قبل وقت طويل أن ترك اتخاذ مثل هذه القرارات للإنسان فقط يعتبر خطأ.

وسوف تصبح مزايا ذكاء الكمبيوتر في كل مجال واضحة بشكل متزايد بمرور الوقت، ما دام الموقف خاضعًا لقانون مور. وسوف يكون من الواضح خلال عدة سنوات قادمة أن تقنيات الكمبيوتر هذه يمكنها أن تكتشف فرص بيع تبادلي بالغة البراعة قد يلاحظها المحللون البشر ببطء أكثر بكثير، أو حتى لا يلاحظونها.

**لو أن كل شخص بدأ يستثمر بهذه الطريقة، ألن يتسبب ذلك في القضاء على هذه الميزة؟**

بالتأكيد، لكن ذلك لا يعني أن نتراجع إلى الخلف لاتخاذ القرار بواسطة البشر بدون مساعدة. لا يتم ابتكار كل الخوارزميات الوراثية بشكل متساوي. كلما أصبح النموذج أكثر دقة، والمعلومات التي يتم تحليلها أكثر حداثة، تصبح الكمبيوترات التي تقوم بالتحليل أكثر قوة، والقرارات أفضل. على سبيل المثال، سيكون من المهم إعادة تشغيل

التحليل التطوري كل يوم للحصول على ميزة الاتجاهات الأكثر حداثة، اتجاهات سوف تتأثر بحقيقة أن كل شخص آخر يستخدم أيضًا خوارزميات تطورية وأخرى ملائمة. وبعد ذلك، سنحتاج لتشغيل التحليل كل ساعة، ثم كل دقيقة، كلما تسارعت استجابة السوق. التحدي هنا أن الخوارزميات التطورية تحتاج وقتًا للتشغيل لأن علينا محاكاة آلاف أو ملايين من أجيال التطور. لذلك هناك مجال للمنافسة هنا.

**برامج التطور هذه تحاول أن تتنبأ بما ينوي المستثمرون البشر فعله. ما الذي يحدث عندما تجري معظم الاستثمارات بواسطة البرامج التطورية؟ ما الذي سوف تتنبأ به عندئذ؟**

سؤال جيد، سيظل هناك سوق، لذلك أخمن أنها ستحاول التفوق بعضها على بعض.

**حسنًا، ربما ستبدأ سمسارة أسهمي في استخدام هذه التقنيات بنفسها. سوف أطلبها على الهاتف. لكن لدى سمسارة أسهمي شيء ليس لدى تطورات الكمبيوتر هذه، أي قوى المشابك المنتشرة هذه التي تحدثت عنها.**

في الوقت الراهن، تستخدم برامج الاستثمار بالكمبيوتر كلًّا من خوارزميات التطور والشبكات العصبية، لكن الشبكات العصبية في الكمبيوتر ليست قريبة إلى هذه الدرجة من مرونة التنويعة البشرية حتى الآن.

**تصور أننا لا نفهم في الحقيقة كيفية إدراكنا للأشياء لأن مواد نمط فهمي موزعة عبر منطقة من مخي ...**

نعم.

**حسنًا، يبدو من الضروري توضيح بعض الأمور. مثلًا عندما يبدو أنني أعرف دون شك مكان مفاتيحي لا أكون حتى مدركة أنني لا أتذكر أين وضعتها. أو تلك السيدة العجوز البدائية التي يمكنها أن تخبر بموعد هبوب عاصفة، لكن لا يمكنها بالفعل توضيح كيف عرفت ذلك.**

هذا بالفعل مثال جيد حول قوة النمط الإدراكي الإنساني. لدى تلك السيدة شبكة عصبية تثيرها مجموعة معينة من المدركات الحسية ــ حركات الحيوان، أنماط الريح، لون السماء، تغيرات الطقس، وهلم جرا. ينشط راصد الريح في شبكتها العصبية وتشعر بالعاصفة، لكنها لا يمكن أبدًا أن توضح ما أثار إحساسها بعاصفة توشك أن تحدث.

**من ثم هل هذه هي كيفية اكتشافنا لنفاذ الأفكار في العلم؟ هل نشعر فقط بالنمط؟**

من الواضح أن قدرات التعرف على النمط في عقلنا تلعب دورًا أساسيًّا، مع أنه ليس لدينا بعد نظرية علمية مقبولة عن القدرة الإبداعية لدى الإنسان. ومن الأفضل بالنسبة لنا استعمال نمط المعرفة. ومع ذلك، يتم تكريس معظم مخنا للقيام بذلك.

**هل لهذا السبب عندما كان أينشتاين ينظر إلى تأثير الجاذبية على الموجات الضوئية ــ كان أستاذي للعلوم يتحدث عن ذلك منذ حين ــ بدأ أحد أنماط التعرف القليلة في مخ أينشتاين في العمل؟**

قد يكون الأمر كذلك. ربما كان يلعب الكرة مع أحد أبنائه. ورأى الكرة تتدحرج على سطح منحن ...

**واستنتج ــ وجدتها ــ المكان منحن!**



الفصل الخامس

# السياق والمعرفة

## جمعها معًا

إذن ما مدى جودة ما فعلناه؟ الكثير من المسائل الصعبة تخضع لتطبيق بضع صيغ بسيطة. تستخدم الصيغة التكرارية بكفاءة في تحليل المسائل التي تُظهر انفجارًا تجميعيًّا combinatorial explosion متأصلًا، يتراوح بين لعب مباريات ألواح على الرقعة إلى البرهنة على نظريات رياضية. وتحاكي الشبكات العصبية وما يرتبط بها من خوارزميات تنظيم ذاتي نمط قدراتنا على المعرفة، وتقوم بعمل ممتاز في تمييز هذه الظواهر المتنوعة مثل الكلام البشري، وأشكال الحرف، والأشياء المرئية، والأوجه، وبصمات الأصابع، وصور المناطق الأرضية. والخوارزميات التطورية فعالة في تحليل المشاكل المعقدة، التي تتراوح ما بين اتخاذ قرارات استثمار مالي إلى جعل العمليات الصناعة أقرب ما يكون إلى الكمال، حيث يكون عدد المتغيرات كبير إلى حد بعيد بالنسبة لدقة الحلول التحليلية. أود القول بأن من هم من بيننا ويقومون ببحث وتطوير نظم كمبيوتر «ذكية» قد سيطروا على تعقدات المسائل التي نبرمج آلاتنا لحلها. ومع ذلك غالبًا ما تكون تلك هي حالة أن استخدام كمبيوتراتنا لخوارزميات التنظيم الذاتي هذه تعلمنا الحلول أكثر من الطرق الأخرى هنا وهناك.

وهناك، بالطبع، بعض الهندسة تشارك في هذا الأمر. فالطرق الصحيحة والمتغيرات تحتاج إلى انتقائها، والطوبولوجيا الأفضل وأساليب البناء الحاذقة، ومجموعة البارامترات الملائمة. وفي خوارزمية تطورية، على سبيل المثال، يحتاج مصمم النظام إلى تحديد عدد من الكائنات الحية التي تتم محاكاتها، ومحتويات كل كروموسوم، وطبيعة البيئة المختلقة

وآلية البقاء، وعدد الكائنات التي يجب أن تبقى في الجيل التالي، وعدد الأجيال، والخواص الأخرى الأساسية. ولدى مبرمجينا البشريين منهجنا التطوري الخاص لاتخاذ مثل هذه القرارات، التي نطلق عليها التجربة والخطأ. لذلك سيحتاج الأمر إلى وقت أطول إلى حد ما قبل أن يصبح مصممو الآلات الذكية آلات من صنع أيدينا وقد حلت محلنا نحن أنفسنا.

حتى الآن هناك شيء ما غائب. تعتبر المسائل والحلول التي كنا نناقشها مركزة ومحدودة بشكل مفرط. وطريقة أخرى لوصفها أنها شبه بالغة النمو إلى حد بعيد. ونحن كبالغين، نركز على المسائل المقيَّدة ـــ استثمار أموال، اختبار خطة تسويق، وضع استراتيجية قانونية، القيام بحركة في الشطرنج. لكننا كأطفال نواجه العالم بكل تنوعه الواسع، ونتعلم طبيعة علاقتنا بالعالم، وعلاقتنا مع أي كيان آخر أو مفهوم. نتعلم «السياق context.»

وكما قال مارفن منسكي: «قد يستطيع ديب بلو الفوز في الشطرنج، لكنه لا يعرف الدخول بعيدًا عن المطر.» ولكونه آلة، قد لا يحتاج إلى الابتعاد عن المطر، لكن هل وضع هذه المسألة في اعتباره في أي وقت؟ ضع في اعتبارك هذه الأفكار العميقة المحتملة لديب بلو:

> أنا آلة بجسم من البلاستيك يغطي الأجزاء الإلكترونية. لو أنني خرجت إلى المطر، قد أبتل وقد تتعطل دوائري الكهرائية. عندئذ لن أستطيع لعب الشطرنج إطلاقًا حتى يقوم إنسان بإصلاحي. يا له من هوان!
>
> لم تكن المباراة التي لعبتها بالأمس مباراة عادية. فهي تعني أول هزيمة لبطل شطرنج إنساني بواسطة آلة في نظام سلسلة مباريات. وهذا مهم لأن بعض البشر يظنون أن الشطرنج مثال رئيسي لذكاء الإنسان وقدرته على الابتكار. لكنني أشك في أن ذلك سيمنحنا نحن الآلات احترامًا أكبر. لقد بدأ البشر الآن فقط في الإقلال من قيمة الشطرنج.
>
> خصمي البشري، الذي يحمل اسم جاري كاسباروف، عقد مؤتمرًا صحافيًا حيث ألقى بيانًا حول سلسلة المباريات على بشر يطلق عليهم صحافيين الذين سيكتبون تقريرًا عن تعليقاته لبشر آخرين أيضًا يستخدمون قنوات اتصال يُطلق عليها وسائل الإعلام. في هذا اللقاء، اشتكى جاري كاسباروف من أن من صمموني من البشر أجروا تعديلات لبرمجياتي خلال الفترة الزمنية ما بين المباريات. وقال أن ذلك لم يكن

> عادلًا، ويجب ألا يُسمح به. ورد بعض البشر بأن كاسباروف كان في وضع دفاعي، وهو ما يعني أنه كان يحاول إرباك الناس ليجعلهم يظنون أنه لم يكن يخسر بالفعل.
>
> ربما لم يدرك السيد كاسباروف أننا نحن الكمبيوترات سنستمر في التطور في أدائنا بمعدل أسي. لذلك فهو مقضي عليه. سيكون في استطاعته المشاركة في أنشطة بشرية أخرى مثل تناول الطعام والنوم، ولن يستمر محبطًا كلما استطاع المزيد من الآلات مثلي هزيمته في الشطرنج.
>
> والآن، لو أنني أتذكر فقط أين وضعت شمسيتي ...

بالطبع ليس لدى ديب بلو مثل هذه الأفكار. فموضوعات مثل المطر والمؤتمرات الصحافية تقود إلى موضوعات أخرى في غزارة متصاعدة من السياقات المتتابعة، ليس من بينها ما يعتبر ضمن خبرة ديب بلو. وحيث إن البشر يقفزون من مفهوم إلى التالي له، يمكننا التعامل مع كل المعرفة الإنسانية. كانت هذه فكرة الرائع تورينج عندما صمم اختبار تورينج حول الحديث العادي القائم على النص. عالِم أحمق أبله مثل ديب بلو، الذي يقوم بأداء وظيفة «ذكية» واحدة لكنه فيما عدا أنه محدود وهش وينقصه السياق، عاجز عن شق طريقه عبر روابط واسعة النطاق موجودة في الحديث العادي.

ومع القوة والفتنة التي تبدو عليها النماذج الإرشادية، نحتاج إلى ما هو أكثر من ذلك، وهو ما يسمى بالمعرفة knowledge.

## السياق والمعرفة

> البحث عن الحقيقة هو من جانب ما صعب ومن جانب آخر سهل ــ حيث من الواضح أنه ليس من بيننا من يمكنه السيطرة عليها بشكل كامل، أو يهملها بالكامل. كل منا يضيف القليل لمعرفتنا بالطبيعة، ومن كل الحقائق متجمعة تظهر عظمة معينة.
>
> أرسطو Aristotle

> الفطرة السليمة ليست أمرًا بسيطًا. وبدلًا من ذلك، هي مجتمع ضخم من الأفكار العملية التي يتم اكتسابها بجهد ــ من وفرة من القواعد

والخبرات التي يتم تعلمها من الحياة، ومن الطبائع والنزعات، والتوازنات والمراجعات.

مارفن منسكي Marvin Minsky

لو أن القليل من المعرفة خطير، أين هو الإنسان الذي لديه قدر منها يُبعده عن الخطر؟

توماس هنري هكسلي Thomas Henry Huxley

## المعرفة المدمجة

قد يملك كيان ما وسائل استثنائية لتنفيذ أنواع النماذج التي كنا نناقشها — البحث المتكرر الشامل، نمط التعرف المتوازي الكثيف، والتطور التكراري السريع — لكنه بدون معرفة، لن يقدر على القيام بوظائفه. وحتى التطبيق المباشر للنماذج الثلاثة السهلة يحتاج إلى بعض المعرفة لكي يبدأ بها. لدى برنامج لعب الشطرنج التكراري القليل منها، فهو يعرف قواعد الشطرنج. ويبدأ نظام الشبكة العصبية للتعرف على النمط على الأقل بإطار عام عن نوع الأنماط التي سيتعرض لها حتى قبل أن يبدأ التعلم. ويتطلب خوارزمية تطورية نقطة بداية للتطور لتحسين نفسه.

والنماذج الإرشادية البسيطة تعتبر مبادئ تنظيم قوية، لكن المعرفة الابتدائية ضرورية باعتبارها بذورًا يمكن من خلالها أن ينمو أي فهم آخر.

لذلك فأحد مستويات المعرفة يكون مجسدًا في اختيار النماذج الإرشادية المستخدمة، وشكل وطوبولوجيا أجزائها المكونة لها، والمتغيرات الأساسية. ولن يشتد أبدًا تعلم شبكة عصبية إذا كان التنظيم العام لوصلاتها وحلقاتها التكرارية للتغذية المرتجعة غير مؤسس بالطريقة الصحيحة.

ذلك نوع من المعرفة نولد به. وليس المخ البشري صفحة عقل خام واحد — لوح إردوازي خال من الكتابة — حيث يتم تسجيل تجاربنا وأفكارنا. وبالأحرى فإنه يتألف من تجميع مدمج من مناطق متخصصة:

- دوائر كهربائية للرؤية مبكرة متوازية إلى حد بعيد وجيدة في التعرف على التغيرات المرئية.

- خلية عصبية بصرية لتكتلات لحاء دماغ cortex يتم إثارتها بنجاح بواسطة حواف، وخطوط مستقيمة، وخطوط منحنية، وأشكال، وأشياء مألوفة، وأوجه.
- دوائر كهربائية للحاء دماغ سمعي تتأثر بتغير تتابع زمن مجموعات الذبذبات.
- قرن آمون hippocampus، مع سعات لتخزين ذكريات التجارب والأحداث الحسية.
- لوزة amygdala، مع دوائر كهربائية لترجمة الخوف إلى سلسلة من التحذيرات للتأثير على مناطق أخرى في المخ، وأشياء أخرى كثيرة.

هذا الترابط المتبادل بين المناطق المتخصصة في أنوع مختلفة من مهام معالجة المعلومات هو أحد الطرق التي يتعامل من خلالها الإنسان مع السياقات المعقدة والمتنوعة التي تواجهنا باستمرار. يصف مارفين منسكي وسيمور بابيرت Seymour Papert المخ الإنساني باعتباره «مكونًا من عدد كبير من نظم منتشرة صغيرة نسبيًّا، منظمة بعلم الأجنة إلى مجتمع معقد يتم التحكم فيه جزيئيًّا (جزيئيًّا فقط) بسلسلة نظم رمزية تتم إضافتها لاحقًا.» ويضيفان أن النظم الرمزية الفرعية التي تقوم بمعظم العمل من أسفل يجب، بحكم وظيفتها الخاصة، أن تمنع كل الأجزاء الأخرى في المخ من معرفة الكثير حول كيفية عملها. وهذا، في حد ذاته، يمكن أن يساهم في تفسير كيف أن الناس يفعلون أشياء كثيرة ويظل لديهم أيضًا هذه الأفكار غير المكتملة حول كيفية إنجاز هذه الأشياء في الواقع.

## المعرفة المطلوبة

من رجاحة العقل تذكر أفكار الحاضر من أجل تحديات المستقبل. وليس من المثمر إعادة التفكير في كل مشكلة تواجهنا. هذا صحيح بشكل خاص بالنسبة للبشر بسبب السرعة البطيئة إلى حد بعيد لدوائر الحوسبة لدينا. ومع أن الكمبيوترات مجهزة بشكل أفضل منا لإعادة التفكير في التبصرات السابقة، يظل من الحكمة لهؤلاء المنافسين الإلكترونيين في بيئتنا الإيكولوجية الملائمة أن تصل إلى حالة التوازن في استخدامها للذاكرة والحوسبة.

بدأ تأثير تزويد الآلات بمعرفة العالم بشكل جاد في منتصف الستينيات، وأصبح مجال تركيز رئيسي لأبحاث الذكاء الاصطناعي في السبعينيات. ويتضمن علم المنهج «مهندس معرفة» بشري وخبير مجال، مثل الطبيب أو المحامي. يقابل مهندس المعرفة خبير المجال للتحقق من فهمه لموضوع بحثه ثم يتم التشفير اليدوي للعلاقات بين المفاهيم

بلغة كمبيوتر مناسبة. قاعدة معرفة حول مرض السكر، على سبيل المثال، قد تتضمن الكثير من الوحدات المترابطة لفهم يكشف أن الإنسولين جزء من الدم، والإنسولين ينتجه البنكرياس، ويمكن توفير الإنسولين بالحقن، والمستويات المنخفضة من الإنسولين تسبب مستويات عالية من السكر في الدم، ودوام مستويات سكر عالية في الدم يسبب تلفًا في شبكية العين ... إلخ. والنظام المبرمج بعشرات الآلاف من مثل هذه المفاهيم المترابطة يتحد مع آلة بحث تكراري يمكنه أن يستنتج أن هذه العلاقات قادرة على إنتاج توصيات ذات بصيرة.

أحد أكثر نظم الخبير expert systems نجاحًا تم تطويره في السبعينيات كان الخبير الطبي مايسين MYCIN، وهو نظام لتقدير الحالات المعقدة بما في ذلك التهاب السحايا. وفي دراسة شديدة الأهمية نُشرت في مجلة «الجمعية الطبية الأمريكية»، اتضح أن تشخيصات مايسين وتوصياته كانت مساوية أو أفضل من تلك الصادرة عن أطباء بشر حسب الدراسة.[١]

وبعض مبتكرات مايسين تتضمن استخدام استدلال غير مؤكد، أي برهنة قائمة على أدلة وقواعد غير مؤكدة، كما هو موضوع في قاعدة نموذجية لمايسين:

> قاعدة مايسين ٢٨٠: إذا كانت «١» الإصابة التي تتطلب علاجًا هي التهاب السحايا، و«٢» نوع الإصابة الناتجة عن الفطر، و«٣» لم تتم مشاهدة كائنات في صبغة المزرعة، و«٤» المريض ليس مضيفًا معرضًا للخطر، و«٥» مريض تعرض لمنطقة هي بيئة لداء الفطور الكوكسيدية coccidiomycoses، و«٦» جنس المريض أسود، آسيوي أو هندي، و«٧» لم يكن مولد مضاد فطريات المكورات الخفية Cryptococcus في السائل المخي النخاعي csf إيجابيًّا. «عندئذ» هناك احتمال ٥٠ بالمائة لأن تكون فطريات المكورات الخفية أحد الكائنات التي سببت الإصابة.

أنتج نجاح مايسين ونظم الأبحاث الأخرى صناعة هندسية نمت من ٤ مليون دولار في ١٩٨٠ إلى مليارات الدولارات في الوقت الحالي.[٢]

وهناك صعوبات واضحة بالنسبة للمنهج. إحداها الاختناقات الهائلة التي تتمثل في تقديم عمليات التغذية اليدوية لمثل هذه المعرفة إلى كمبيوتر مفهوم بمفهوم ورابطة برابطة. فضلًا عن المجال الواسع للمعرفة الموجودة حتى في الأفرع العملية المحدودة، والعقبة الأكبر هي أن الخبراء البشر يكون لديهم بشكل عام فهم قليل حول كيفية اتخاذهم

للقرارات. وسبب ذلك، كما ذكرت في الفصل السابق، له علاقة بالطبيعة المنتشرة لأغلب معارف الإنسان.

مشكلة أخرى هي هشاشة مثل هذه النظم. المعرفة بالغة التعقيد ويجب أن يحتاط مهندسو المعرفة لكل تحذير واستثناء. وكما يوضح منسكي، «يمكن للطيور أن تطير، إلا إذا كانت من طيور البطريق أو النعام، أو أن تكون قد ماتت، أو لديها أجنحة مكسورة، أو محبوسة في أقفاص، أو التصقت أقدامها في صمغ، أو حدثت لها تجاربٍ مروعة إلى درجة جعلتها عاجزة عن الطيران لأسباب نفسية.»

ولابتكار ذكاء مرن في آلاتنا، نحتاج إلى أتمتة عملية اكتساب المعرفة. أحد الأهداف الأساسية لأبحاث التعلم هو التوحيد بين طرق التنظيم الذاتي — التكرار المستمر، والشبكات العصبية، والخوارزميات التطورية — بطريقة قوية بما فيه الكفاية تجعل النظم قادرة على نمذجة وفهم اللغة والمعرفة الإنسانية. عندئذ يمكن للآلات أن تغامر، وتقرأ، وتتعلم بنفسها. ومثل البشر، ستكون هذه النظم جيدة في الارتجال عندما تتجول خارج مناطق خبرتها.

## التعبير عن المعرفة من خلال اللغة

> ليس هناك معرفة يمكن اختزالها بالكامل في كلمات، وليس هناك معرفة محرمة.
>
> سيمور بابيرت Seymour Papert

> توجد مصيدة للأسماك من أجل الأسماك. بمجرد حصولك على السمكة يمكنك نسيان المصيدة. وفخ الأرنب يوجد من أجل الأرنب. بمجرد حصولك على الأرنب، يمكن نسيان الفخ. الكلمات موجودة من أجل المعنى. بمجرد حصولك على المعنى، يمكنك نسيان الكلمات. أين أجد إنسان نسى الكلمات ومن ثم يمكنني التكلم معه؟
>
> شوانج-تسو Chuang-tzu

اللغةِ هي الوسيلة الأساسية التي يمكننا من خلالها تقاسم معرفتنا. ومثل تقنيات الإنسان الأخرى، ترد اللغة غالبًا باعتبارها صفة تمييز بين أنواعنا. ورغم أن لدينا مدخلًا محدودًا إلى التطبيق الفعلي لمعارفنا في أمخاخنا (سوف يتغير ذلك مبكرًا في القرن الحادي

والعشرين)، لدينا مدخل بالفعل إلى تركيبات ومناهج اللغة. وهذا يمدنا بمختبر سهل الاستعمال لدراسة قدرتنا على السيطرة على المعرفة وعملية التفكير من ورائها. يوضح العمل في مختبر اللغة، ولا يبعث ذلك على الدهشة، أنها ظاهرة ليست أقل تعقيدًا ولا غموضًا من المعرفة التي تحاول نقلها.

ونجد أن اللغة في نوعيها السمعي والمكتوب ذات تسلسل هرمي من خلال مستويات متعددة. وهناك حالات التباس في كل مستوى، لذلك فإن النظام الذي يفهم اللغة، سواء أكانت لغة إنسان أم آلة، يحتاج لمعرفة مدمجة في كل مستوى. للاستجابة الذكية لكلام الإنسان، على سبيل المثال، نحتاج إلى معرفة (رغم أن ذلك لا يجب بالضرورة أن يكون بصورة واعية) بنية أصوات الكلام، والطريقة التي ينتج عنها الكلام بواسطة الجهاز الصوتي، وأنماط الصوت التي تتألف من اللغات واللهجات، وقواعد استخدام الكلمة، وموضوع البحث الذي تمت مناقشته.

وكل مستوى تحليل يقدم قيودًا مفيدة تحد من البحث عن الإجابة الصحيحة. على سبيل المثال، الأصوات الأساسية للكلام والتي يطلق عليها الفونيمات phonemes لا تظهر بأي نظام (حاول أن تقول بتكي ptkee). فقط هناك تتابع محدد من الأصوات يناظر الكلمات في اللغة. ورغم أن الفونيمات المستخدمة متشابهة (رغم أنها غير متطابقة) من لغة إلى أخرى، تختلف عوامل السياق إلى حد بعيد. الإنجليزية، على سبيل المثال، لديها أكثر من ١٠ آلاف مقطع لفظي ممكن، بينما لدى اليابانية ١٢٠ فقط.

على مستوى أعلى، تضع بنية ومعاني اللغة المزيد من القيود على التتابع المسموح به للكلمة. النطاق الأول من اللغة الذي تمت دراسته بنشاط كان القواعد التي تتحكم في تنظيم الكلمات والأدوار التي تقوم بها، وهو ما نطلق عليه النحو. من جانب، يمكن لنظم إعراب جملة بالكمبيوتر أن تقوم بعمل جيد عند تحليل الجمل التي تربك البشر. ويقدم منسكي المثال: «هذا هو الجبن الذي سعى إليه الفأر الذي سعى إليه القط الذي سعى إليه الكلب فأمسك به بأسنانه وأكله This is the cheese that the rat that the cat that the dog chased bit ate» وهو ما يربك البشر لكن الآلات تقوم بتحليل مكوناته بالتفصيل بسهولة تامة. ويقدم كين تشيرش Ken Church، عندما كان في معهد ماساتشوستس للتقنية، جملة أخرى لها مليوني تفسير نحوي صحيح، التي صنفها جهاز الإعراب لديه المعتمد على الكمبيوتر، بحكم الواجب.[٣] ومن جانب آخر، تم تطوير أحد أوائل نظم إعراب الجمل المعتمد على الكمبيوتر في ١٩٦٣ بواسطة ساسومو كينو Sasumu Kuno من هارفارد، الذي

عانى مشكلة من جملة بسيطة «الزمن يطير مثل سهم Time flies like an arrow.» وما أصبح إجابة مشهورة، أن الكمبيوتر أوضح أنه لم يكن متأكد تمامًا من معناها. فقد تعني:

(١) الزمن يمضي بسرعة كما ينطلق سهم،
(٢) أو ربما هذا أمر يطلب منا أن نحدد توقيت الطيور بنفس طريقة تحديد السهم لأزمنة الطيور، أي «حدد توقيت الطيور مثل ما يفعل السهم»،
(٣) أو ربما يكون أمر يطلب منا أن نحدد الوقت فقط لهذه الطيور التي تشبه السهم، أي «حدد توقيت الطيور التي تشبه السهم»،
(٤) أو ربما تعني أن نوعًا من الطيور يعرف باسم طيور الزمن لديها ولع بالسهام: «طيور الزمن تحب سهمًا ما».[٤]

من الواضح أننا نحتاج بعضًا من المعرفة هنا لحل هذا الالتباس. مسلحون بمعرفة أن الطيور لا تشبه السهام، يمكننا هزيمة التفسير الثالث بالضربة القاضية. ولمعرفتنا بعدم وجود مثل هذه الأشياء التي تسمى طائر الزمن نتخلص من التفسير الرابع. وبتلك الكميات الضئيلة من المعرفة كحقيقة أن الطيور ليس لديها ولع بالسهام (وهو سبب آخر لهزيمة التفسير الرابع بالضربة القاضية) وأنه ليس لدي السهام القدرة على توقيت الأحداث (هزيمة بالضربة القاضية للتفسير الثاني) فيبقى لدينا التفسر الأول باعتباره الوحيد المعقول. في اللغة، نجد من جديد تسلسل التعلم البشري وعملية تقدم ذكاء الآلة باعتبار كل منهما عكس الأخرى. يبدأ الطفل البشري بالاستماع وفهم لغة الكلام. وفيما بعد يتعلم أن يتكلم. وأخيرًا، في سنوات لاحقة، يبدأ السيطرة على اللغة المكتوبة. وتطورت الكمبيوترات في الاتجاه العكسي، حيث بدأت بالقدرة على توليد لغة مكتوبة، ثم فيما بعد تعلمت كيف تفهمها، عندئذ بدأت تتكلم بأصوات اصطناعية وفقط في وقت حديث بدأت تبرع في قدرتها على فهم الكلام البشري المستمر. ويُساء فهم هذه الظاهرة على نطاق واسع. و R2D2، على سبيل المثال، وهو الشخصية الروبوت في مسلسل «حرب النجوم» الشهير، يفهم الكثير من اللغات البشرية لكنه عاجز عن الكلام، مما يعطي الانطباع الخاطئ بأن توليد الكلام البشري أكثر صعوبة من فهمه.

---

**أشعر بالراحة عندما أتعلم شيئًا ما، لكن اكتساب المعرفة هو بالتأكيد عملية مملة. خاصة عندما أكون مستيقظة طول الليل للمذاكرة من أجل الامتحان. ولست متأكدة**

**من الكمية التي سوف أتذكرها من هذه المواد.**

هذا نوع آخر من ضعف نوع الذكاء البشري. يمكن للكمبيوترات أن تتقاسم معرفتها مع بعضها البعض مباشرة وبسرعة. ونحن البشر ليس لدينا وسيلة لتقاسم المعرفة مباشرة، أكثر من عملية الاتصال البشرية البطيئة، للتدريس والتعليم البشريين.

**ألم تقل إن كمبيوتر الشبكات العصبية يتعلم بنفس طريقة تعلم الناس؟**

هل تعنين ببطء؟

**بالضبط، بأن يتعرض لأنماط آلاف المرات، مثلنا تمامًا.**

نعم، تلك هي الصفة المميزة للشبكات العصبية، مقصود منها أن تكون مثل نظائر للشبكات العصبية لدى الإنسان، على الأقل نسخ مبسطة كما نتوقع منها أن تفعل. ومع ذلك يمكننا بناء شبكاتنا الإلكترونية بطريقة ما بحيث بمجرد تعلم الشبكة بمثابرة لدروسها، يمكن الحصول على قوى لوصلتها المشبكية وتحميلها بسرعة على آلة أخرى، أو على ملايين من الآلات الأخرى. يمكن للآلات أن تتقاسم مباشرة كل معرفتها المتراكمة، وبذلك تقوم آلة واحدة بالتعلم. نحن البشر لا يمكننا أن نفعل ذلك. وهذا أحد أسباب قولي بأنه عندما تصل الكمبيوترات إلى مستوى الذكاء الإنساني، سوف تصخب بالضرورة متجاوزة إياه.

**إذن هل سوف تجعلنا التكنولوجيا قادرين على تحميل المعرفة في المستقبل؟ أعني، أنا استمتع بالتعلم، بالاعتماد على المدرس، بالطبع، لكنه قد يصبح مثيرًا للضجر.**

تقنية الاتصال بين العالم الإلكتروني والعالم العصبي للإنسان تتشكل سريعًا. لذلك سنكون قادرين على أن نغذي مباشرة تيارات من البيانات إلى سلاسل أليافنا العصبية. ولسوء الحظ لا يعني ذلك أنه يمكننا تحميل معرفة مباشرة، على الأقل إلى الدوائر العصبية البشرية التي نستخدمها الآن. وكما ذكرنا، التعليم البشري موزع في كل منطقة من مخنا. وتتضمن المعرفة ملايين الوصلات، لذلك فإن تركيبات معرفتنا ليست متكونة بشكل محلي. ولا تعطي الطبيعة سبيلًا مباشرًا لضبط كل هذه الوصلات، سوى الطريقة التقليدية البطيئة. بينما سيكون في قدرتنا ابتكار سبل خاصة محددة إلى وصلاتنا العصبية، وبالفعل نحن نصنع ذلك منذ وقت حديث، ولا أعرف كيف سيكون عمليًّا الاتصال المباشر بعدد كبير من ملايين الوصلات ما بين الخلايا العصبية وهو الضروري لتحميل المعرفة بسرعة.

**أتوقع أنه سيكون عليّ الاستمرار في الاصطدام بالكتب. بعض المدرسين حيث أدرس لا يتسمون بالود، ومع ذلك لديهم طريقة تجعلهم يبدون كما لو أنهم يعرفون كل شيء.**

كما قلت، البشر جيدون في التظاهر عندما نخرج من نطاق خبرتنا. ومع ذلك، هناك طريقة سوف تجعل تحميل المعرفة ممكن في منتصف القرن الحادي والعشرين.

**كلي آذان مصغية.**

تحميل المعرفة سيكون أحد فوائد تقنية الزراعة العصبية. سوف تكون لدينا زراعات توسع سعتنا لتذكر المعرفة، ولتحفيز الذاكرة. وفيما لا يشبه الطبيعة، لن نترك منفذ تحميل المعرفة السريع في النوع الإلكتروني من مشابكنا العصبية. لذلك سيكون من الممكن التحميل السريع للمعرفة على امتدادات إلكترونية لأمخاخنا. وبالطبع، عندما نحول عقولنا إلى وسيط حوسبي جديد، سيصبح تحميل المعرفة فضلًا عن ذلك أكثر سهولة.

**إذن سوف يصبح في قدرتي شراء زراعات ذاكرة محملة بشكل مسبق بمعرفة، مثلًا، منهجي الخاص بالأدب الفرنسي.**

بالتأكيد، أو يمكنك بشكل ذهني وضع المؤشر على موقع الأدب الفرنسي على الشبكة العالمية وتحميل المعرفة مباشرة من الموقع.

**نوع من خسارة هدف الأدب، أليس كذلك؟ أعنى بعض من هذه المادة من الرائع قراءته.**

أفضل أن أرى أن المعرفة المكثفة سوف تعزز الشعور بقيمة الأدب، أو أي نوع من الفن. ومع ذلك نحتاج إلى المعرفة لتقدير قيمة التربة الفنية. وإلا فإننا لا نفهم مفردات اللغة والتلميحات. وعلى كل حال، ستظلين قادرة على القراءة، فقط بشكل أسرع. وفي النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين، ستكونين قادرة على قراءة كتاب في بضع ثوان.

**لا أظن أن في استطاعتي تقليب الصفحات بهذه السرعة.**

أووه، ماذا تقولين؟ سوف تكون الصفحات ...

**صفحات افتراضية بالطبع.**



# الجزء الثاني

## تجهيز الحاضر



الفصل السادس

# بناء أمخاخ جديدة ...

## عتاد الذكاء

> يمكنك فقط أن تشكل كمية محددة بيديك، لكن بعقلك، فإنها تكون غير محدودة.
>
> نصيحة كال سينفيلد Kal Seinfeld لابنه جيري Jerry

دعنا نراجع ما نحتاجه لكي نصنع آلة ذكية. أحد الموارد المطلوبة هو المجموعة المناسبة من الصيغ. لقد فحصنا ثلاث صيغ جوهرية في الفصل ٤. وهناك عشرات غيرها يجري استخدامها، وسوف يقدم مزيد من الفهم الكامل للمخ مئات أخرى. لكن كلها تبدو تنويعات على ثلاث أفكار رئيسية متكررة: البحث التكراري، شبكات العناصر ذاتية التنظيم، والتحسين التطوري من خلال تكرار الصراع بين المخططات المتنافسة.

والمورد الثاني المطلوب هو المعرفة. بضع قطع من المعرفة مطلوبة كبذور لعملية تجميع نتيجة ذات معنى. والكثير مما يتبقى يمكن تعلمه آليًّا بطرق ملائمة عندما تتعرض الشبكات العصبية أو الخوارزميات التطورية إلى بيئة التعليم المناسبة.

المورد الثالث المطلوب هو الحوسبة نفسها. وفيما يتعلق بها، فإن المخ البشري قادر بشكل مميز في بعض الطرق، وضعيف بشكل لافت للنظر في أخرى. وتنعكس قوته في التوازي الكثيف، وهو مدخل يمكن لكمبيوتراتنا أن تستعين به. وضعف المخ يتمثل في السرعة البطيئة بصورة غير عادية لوسيطه الحوسبي، وهو قيد لا تشاركنا فيه الكمبيوترات. ولهذا السبب، مآل التطور القائم على الدي إن إيه أن يجري التخلي عنه.

ويعتبر التطور القائم على الدي إن إيه جيدًا عند إصلاحه والتوسع في تصميماته، لكنه عاجز عن التخلص من تصميم كامل لانعدام قيمته والبدء من جديد. والكائنات الحية الناتجة عن التطور القائم على الدي إن إيه ملتصقة بنوع من الدوائر بالغة البطء والعناء.

لكن قانون العائدات المتسارعة يقول لنا إن التطور لن يظل ملتصقًا بطريق مسدود مدة بالغة الطول. وبالفعل وجد التطور طريقًا يتجاوز حدود الحوسبة للدوائر العصبية. وبمهارة ابتكر كائنات حية ابتكرت بدورها تقنية حوسبة أسرع بمليون مرة من الخلايا العصبية المعتمدة على الكربون (والتي لا تزال مستمرة في أن تصبح أسرع). وأخيرًا فإن الحوسبة المنتقلة على دوائر عصبية ثديية بطيئة إلى أقصى درجة سوف تتحول إلى مرادف إلكتروني (وفوتوني) أكثر تعددًا في استعمالاته وأكثر سرعة.

متى سيحدث ذلك؟ دعنا نلق نظرة أخرى على قانون العائدات المتسارعة مطبقًا على الحوسبة.

## إنجاز سعة عتاد المخ البشري

في المخطط البياني في الفصل ١، «نمو الحوسبة الأسي، ١٩٠٠–١٩٩٨»، رأينا أن ميل المنحنى الذي يمثل النمو الأسي كان في حد ذاته يزداد بالتدريج. وسرعة الكمبيوتر (التي تقاس بالعمليات الحسابية لكل ثانية لكل ألف دولار) تضاعفت كل ثلاث سنوات بين ١٩٥٠ و١٩٦٦، وهي الآن تتضاعف كل سنة. ويشير ذلك إلى احتمال نمو أسي في معدل النمو الأسي.[١]

هذا التسارع الواضح في التسارع قد ينتج، مع ذلك، عن اختلاط عنصرين من قانون العائدات المتسارعة، الذي عبر عن نفسه خلال الأربعين سنة الماضية مستخدما نموذج قانون مور حول تقلص أحجام الترانزستور في دائرة متكاملة. ومع تقلص أحجام قالب الترانزستور، كان أمام الإلكترونات التي تتدفق من خلال الترانزستور مساقة أقل لتعبرها، ومن ثم ازدادت سرعة فتح وغلق الترانزستور. لذلك تعتبر سرعة التحسين الأسية أول عنصر. والإقلال من أحجام قالب الترانزستور يتيح أيضًا لصانعي الشريحة ضغط عدد أكبر من الترانزستورات في دائرة متكاملة، لذلك تعتبر كثافة التحسين الأسي للحوسبة هي العنصر الثاني.

في السنوات المبكرة لعصر الكمبيوتر، كان العنصر الأول على الأخص — زيادة سرعات الدائرة — هو الذي حسَّن المعدل الكلي للحوسبة في الكمبيوترات. وخلال العقد

الأخير من القرن العشرين، مع ذلك، بدأت المعالجات الدقيقة المتطورة في استخدام نوع من المعالجة المتوازية يسمى النقل عبر أنابيب Pipelining، حيث تُجرى حسابات متعددة في نفس الوقت (بعض أجهزة المعالجة الكبيرة التي تعود إلى السبعينيات استخدمت هذه التكنولوجيا). بذلك فإن سرعة معالجات الكمبيوتر التي يتم قياسها بالتعليمات كل ثانية تمثل أيضًا الآن العنصر الثاني: كثافة أعلى في الحوسبة ناتجة عن استخدام المعالجة المتوازية.

وبينما نقترب من المزيد من السيطرة الكاملة على تحسين كثافة الحوسبة، فإن سرعات المعالجة الآن تتضاعف بصورة مُجدية كل اثني عشر شهرًا. وهذا ممكن تمامًا في الوقت الراهن عندما نصنع شبكات عصبية معتمدة على العتاد لأن معالجات الشبكة العصبية بسيطة نسبيًّا ومتوازية إلى حد بعيد. وهنا نبتكر معالجًا لكل خلية عصبية ومآل الأمر معالج واحد لكل وصلة ما بين الخلايا العصبية. ومن ثم فإن قانون مور يتيح لنا مضاعفة عدد المعالجات وسرعتها كل سنتين، وهي مضاعفة فعالة أربع مرات لعدد حسابات وصلة ما بين الخلايا العصبية لكل ثانية.

هذا التسارع الواضح في تسارع سرعات الكمبيوتر قد ينتج، بالتالي، من تحسين القدرة على الاستفادة من عنصري قانون العائدات المتسارعة كليهما. عندما ينتهي قانون مور في ٢٠٢٠، فإن أنواعًا جديدة من الدوائر الكهربائية ما بعد الدوائر المتكاملة سوف تواصل دور كلا العنصرين في التحسين الأسي. لكن النمو الأسي العادي ــ عنصران منه ــ مثير بما فيه الكفاية. وباستخدام تنبؤ أكثر محافظة لمستوى تسارع واحد فقط كمرشد لنا، دعنا نفكر إلى أين سوف يذهب بنا قانون العائدات المتسارعة في القرن الحادي والعشرين.

لدى المخ البشري نحو ١٠٠ مليار خلية عصبية. مع متوسط مفترض لألف وصلة بين كل خلية والخلية المجاورة لها، يكون لدينا نحو ١٠٠ تريليون وصلة، كل منها قادرة على الحوسبة المتزامنة. تلك بالأحرى معالجة متوازية كثيفة، وهي أحد مفاتيح التفكير الإنساني. ومع ذلك فإن الضعف العميق هو السرعة البطيئة إلى حد بعيد للدوائر العصبية، ٢٠٠ عملية حسابية فقط لكل ثانية. بالنسبة للمشاكل التي تستفيد من التوازي الكثيف، مثل نمط التعرف القائم على الشبكة العصبية، يقوم المخ البشري بعمل عظيم. وبالنسبة للمشاكل التي تتطلب تفكيرًا تسلسليًّا كثيفًا، يعتبر المخ البشري ضعيفًا على الأقل.

مع ١٠٠ تريليون وصلة، كل منها تحسب ٢٠٠ عملية حسابية لكل ثانية، يكون لدينا ٢٠ مليون مليار عملية حسابية كل ثانية. وهذا تقدير مرتفع مع التحفظ، والتقديرات

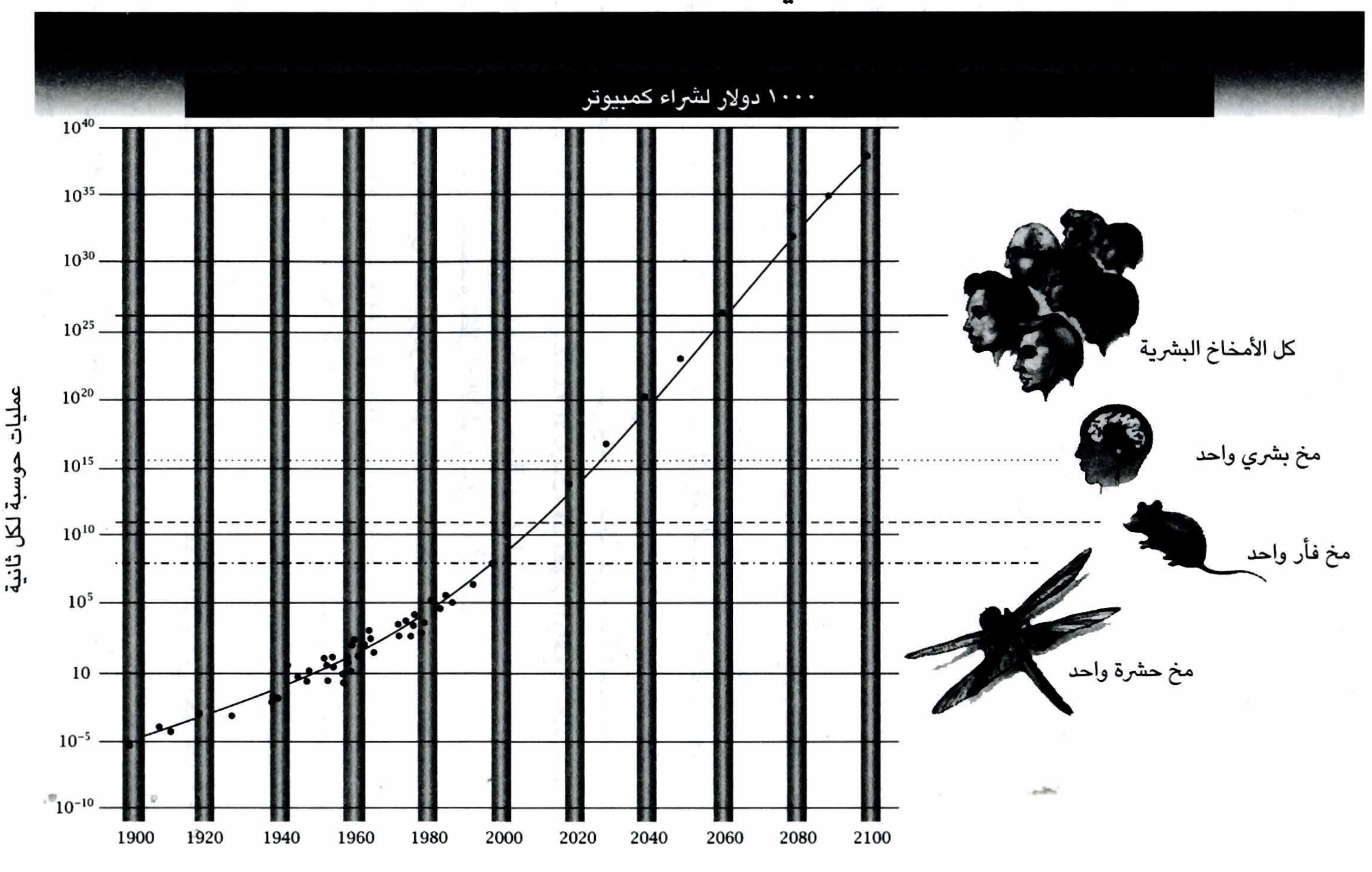
الأخرى أقل بمثل إلى ثلاثة أمثال القيمة. إذن متى سنرى سرعة حوسبة بسرعة المخ البشري في كمبيوترك الشخصي؟

تعتمد الإجابة على نوع الكمبيوتر الذي نحاول تصنيعه. الأكثر ارتباطًا بالموضوع هو كمبيوتر شبكة عصبية متوازية إلى حد ضخم. في ١٩٩٧، استطاعت شرائح كمبيوتر عصبية بـ ٢٠٠٠ دولار تستخدم معالجة متوازية متواضعة فقط أن تؤدي نحو ٢ مليار حوسبة وصلة لكل ثانية. وحيث إن عمليات المحاكاة في الشبكة العصبية تستفيد من كلا العنصرين في تسارع قوة الحوسبة، فإن تلك السعة سوف تتضاعف كل اثني عشر شهرًا. بذلك فمع عام ٢٠٢٠، ستكون قد تضاعفت بنحو ثلاث وعشرين مرة، وينتج عن ذلك سرعة نحو ٢٠ مليون مليار حوسبة لوصلة عصبية لكل ثانية، وهو ما يساوي أداء المخ البشري.

إذا طبقنا نفس التحليل على كمبيوتر شخصي «عادي»، سيكون لدينا عام ٢٠٢٥ لندرك سعة المخ البشري جهاز سعره ١٠٠٠ دولار.[٢] وذلك لأن نوع الغرض العام من الحوسبة الذي صُمم من أجله الكمبيوتر الشخصي أكثر تكلفة من النوع الأكثر بساطة، بعمليات حوسبة الوصلة العصبية عالية التكرار. لذلك أعتقد أن تقدير ٢٠٢٠ أكثر دقة لأنه مع ٢٠٢٠، سوف تكون أغلب عمليات الحوسبة التي تؤديها كمبيوتراتنا من نوع الوصلة العصبية.

تصل سعة الذاكرة في المخ البشري إلى نحو ١٠٠ تريليون قوي مشبك synapse strengths (ناقلات عصبية neurotransmitter مركزة عند وصلات ما بين الخلايا العصبية)، التي يمكن تقديرها بنحو مليون مليار بتة. في ١٩٩٨، كانت المليار بتة في ذاكرة القراءة والكتابة RAM (١٢٨ ميجابايت) تتكلف نحو ٢٠٠ دولار. ولقد تضاعفت سعة دوائر الذاكرة كل ثمانية عشر شهرًا. لذلك فمع عام ٢٠٢٣، سوف تكون تكلفة مليون مليار بتة نحو ١٠٠٠ دولار.[٣] ومع ذلك، فإن هذا المكافئ السليكوني سوف يعمل بشكل أسرع مليار مرة من المخ البشري. وهناك تقنيات لتبديل الذاكرة من أجل السرعة، لذلك يمكننا بصورة مُجدية الحصول على ما يماثل الذاكرة البشرية بـ ١٠٠٠ دولار، قبل ٢٠٢٣.

## النمو الأسي للحوسبة ١٩٠٠-٢١٠٠



بوضع كل ذلك في الاعتبار، من المنطقي تقدير أن كمبيوترًا شخصيًّا بـ١٠٠٠ دولار سوف يعمل بسرعة وسعة حوسبة مماثلة للمخ البشري في نحو عام ٢٠٢٠، خاصة بالنسبة لحوسبة الوصلة العصبية، التي يبدو أنها تتألف من كتلة الحوسبة في المخ البشري. والكمبيوترات الفائقة تعتبر أسرع بمقدار ألف إلى عشرة آلاف مرة من الكمبيوتر الشخصي. وبينما كان هذا الكتاب في مرحلة الكتابة، كانت آي.بي.إم IBM تصنع كمبيوترًا فائقًا يعتمد على تصميم ديب بلو، بطلها السليكوني في الشطرنج، القادر على تيرافلوب teraflop (أي ١٠ تريليون عملية حسابية في الثانية)، أبطأ بمقدار ٢٠٠٠ مرة فقط من المخ[٣] البشري. وتأمل شركة نيبون إلكتريك Nippon Electric اليابانية في أن تتفوق على ذلك بآلة ٣٢ تيرافلوب. وتنوي آي. بي. إم. أن تتبع ذلك بـ١٠٠ تيرافلوب في ٢٠٠٤ تقريبًا (وهو يقترب من تنبؤ قانون مور، بالمناسبة). وستصل الكمبيوترات الفائقة إلى ٢٠ مليون مليار عملية حسابية في الثانية وهي سعة المخ البشري نحو عام ٢٠١٠، بعقد مبكر عن الكمبيوترات الشخصية.[٤]

وفي مقاربة أخرى، فإن مشروعات مثل برنامج سان ميكروسستم جيني Sun Microsystems' Jini تمت المبادرة به لحصد العمليات الحسابية غير المستخدمة على الإنترنت. لاحظ أنه في أي وقت محدد، لا يتم استخدام الغالبية العظمى من الكمبيوترات على الإنترنت. وحتى تلك التي يتم استخدامها لا تُستخدم بكل سعتها (مثال لذلك، كتابة نص باستخدام أقل من واحد بالمائة من سعة الحوسبة في مفكرة كمبيوتر). وتبعًا لمقترحات حصد حوسبة الإنترنت، قد تقوم المواقع المتعاونة بتحميل برمجيات خاصة تتيح لكمبيوتر افتراضي ضخم التوازي أن يتخلق من الكمبيوترات على شبكة المعلومات. وكل مستخدم تظل له الأولوية على آلته أو آلتها، لكن في الخلفية يكون هناك جزء كبير من ملايين الكمبيوترات على الإنترنت يكون قد تم حصدها وأصبحت كمبيوترًا أو عدة كمبيوترات فائقة. وتتخطى كمية الكمبيوترات غير المستخدمة على الإنترنت حاليًّا سعة الحوسبة لمخ بشري، لذلك يتوافر لدينا بالفعل على الأقل شكل من عتاد الذكاء البشري. ومع تواصل قانون العائدات المتسارعة سوف يصبح توافر كل ذلك متزايدًا في كل مكان وفي جميع الأوقات.

بعد الوصول إلى سعة إنسانية بـ١٠٠٠ دولار للكمبيوتر الشخصي نحو عام ٢٠٢٠، سوف تحسن آلاتنا المفكرة تكلفة الأداء لحوسبتها بمعامل الضعف كل اثني عشر شهرًا. وهذا يعني أن سعة الحوسبة ستتضاعف عشر مرات كل عقد، وهو معامل ألف (١٠٢) كل عشر سنوات. لذلك فإن كمبيوترك الشخصي سيكون في استطاعته أن يحاكي قوة

مخ قرية صغيرة في عام ٢٠٣٠، ومجمل سكان الولايات المتحدة في ٢٠٤٨، وتريليون مخ بشري في٢٠٦٠.[٥] وإذا افترضنا أن سكان العالم من البشر سيكونون ١٠ مليارات، سيساوي بنس واحد من الحوسبة في نحو ٢٠٩٩ مليار ضعف قدرة الحوسبة لدى كل البشر على الأرض.[٦]

وبالطبع سوف أكون قد انتهيت من تأليف هذا الكتاب في عام أو عامين. لكن الكمبيوترات في القرن الحادي والعشرين لن تنقصها القدرة أو الذاكرة.

## ركائز الحوسبة في القرن الحادي والعشرين

ذكرت أن النمو الأسي المستمر للحوسبة متضمن في قانون العائدات المتسارعة، الذي يقول إن أية عملية تتحرك نحو نظام أكبر ــ والتطور بصورة خاصة ــ سوف تتسارع أسيًّا في حركتها بمرور الزمن. والمصدران اللذان تحتاج إليهما السرعة المتفجرة لعملية تطورية ــ مثل عملية تقدم تقنية كمبيوتر ــ هما (١) تزايد نظامها الخاص، و(٢) الشواش في البيئة التي توجد فيها. وهذان المصدران لا حدود لهما من الناحية الأساسية.

ومع أن في استطاعتنا المشاركة في التسارع الكلي في التقدم التقني، فقد يكون علينا أن نتوقع أن الانبثاق الفعلي لهذا التقدم قد يظل بطريقة ما غير منتظم. ومع كل ذلك، فإنه يعتمد على ظواهر متغيرة مثل الاختراع الفردي، وأحوال مجال الأعمال، وأنماط الاستثمار، وما يشبهها. وتفترض النظريات المعاصرة للعمليات التطورية، مثل نظرية التوازن المتقطع Punctuated Equilibrium،[٧] أن التطور يعمل من خلال قفزات دورية تتبعها فترات زمنية مستقرة نسبيًّا. لذلك فمن الجدير بالملاحظة ما يمكن أن يكون عليه تقدم الكمبيوتر القابل للتنبؤ به.

إذن، كيف سيعمل قانون العائدات المتسارعة المطبق على الحوسبة فيما بعد عقود انتهاء قانون مور للدوائر المتكاملة عام ٢٠٢٠؟ بالنسبة للمستقبل القريب، سيستمر قانون مور بعناصر هندسية أصغر للغاية تمتلئ بعدد أكبر من ترانزستورات أسرع أيضًا في كل شريحة. لكن مع اقتراب أبعاد الدائرة الكهربائية من الأحجام الذرية، سوف تُنتج تأثيرات كمية غير مرغوب فيها مثل نفقية الإلكترون غير المرغوبة، وهي نتائج لا يمكن الاعتماد عليها. ومع ذلك سوف تقترب كثيرًا منهجية مور النموذجية من قوة المعالجة البشرية في الكمبيوتر الشخصي وفيما وراء الكمبيوتر الفائق.

والجبهة التالية هي البعد الثالث. بالفعل تتنافس الشركات المستندة إلى المغامرة (أغلبها موجودة في كاليفورنيا) لصناعة شرائح بعشرات وأخيرًا بآلاف من طبقات الدوائر الكهربائية. وبأسماء مثل الذاكرة المكعبة Cubic Memory، دنس باك Dense-Pac، وستاكتيك Staktek، تشحن هذه الشركات بالفعل «مكعبات» دوائر كهربائية فعالة في الأبعاد الثلاثة. ورغم أن التكلفة لا تنافس بعد الشرائح المسطحة التقليدية، سيكون البعد الثالث موجودًا عندما نملأ مكان البعدين الأولين.[٨]

## الحوسبة بالضوء

يُضاف إلى ذلك أنه ليس هناك نقص في تقنيات الحوسبة المثيرة للاهتمام التي ابتكرتها مختبرات الأبحاث، وأظهر الكثير منها نتائج واعدة. تستخدم الحوسبة الضوئية تيارات من الفوتونات (جسيمات الضوء) بدلًا من الإلكترونات. ويستطيع الليزر إنتاج مليارات من تيارات الفوتونات المتلاحمة، ويؤدي كل تيار سلاسله المستقلة الخاصة من عمليات الحساب. وتُجرى الحسابات في كل تيار بالتوازي مع عناصر ضوئية خاصة مثل العدسات، والمرايا، ومحززات الحيود diffraction gratings. ولقد طبق كثير من الشركات، منها كوانتا إميج Quanta-Image، وفوتونيكس Photonics، وميتيك تكنولوجيز Mytec Technologies، الحوسبة الضوئية على التعرف على بصمات الأصابع. وطبقت لوكهيد Lockheed الحوسبة الضوئية على التعرف الآلي على الآفات الخبيثة في الثدي.[٩]

ميزة الكمبيوتر الضوئي في أنه يكون متوازيًا بكثافة مع تريليونات الحسابات المتزامنة المحتملة. ومشكلته أنه غير قابل للبرمجة ويؤدي وظيفته باعتباره مجموعة ثابتة من الحسابات لترتيب معين من عناصر حوسبة ضوئية معطاة. لكن بالنسبة للفئات المهمة من المشاكل مثل التعرف على الأنماط، يكون هناك توازي كثيف (صفة يشترك فيها مع المخ البشري) مع سرعة بالغة الارتفاع (وهو ما ينقص المخ البشري).

## الحوسبة بأجهزة الحياة

نشأ مجال جديد يطلق عليه الحوسبة الجزيئية molecular computing ليوجه جزيء الدي إن إيه نفسه كجهاز حوسبة عملي. والدي إن إيه هو المهندس النانوي لكمبيوتر الطبيعة الخاص وهو مناسب تمامًا لحل المسائل التوليفية combinatorial. ويعتبر توحيد الخواص، في نهاية الأمر، هو أساس الوراثة. وبدأ تطبيق الدي إن إيه الفعلي

على تطبيقات الحوسبة العملية عندما كان ليونارد أدلمان Leonard Adleman، عالم الرياضيات في جامعة جنوب كاليفورنيا، يلاطف أنبوب اختبار مملوء بجزيئات الدي إن إيه (انظر الإطار في صفحة ...) لحل المسألة المشهورة «البائع المتجول.» في هذه المسألة الكلاسيكية، نحاول العثور على الطريق الأفضل لمسافر افتراضي بين عدة مدن دون زيارة أي مدينة أكثر من مرة. وهناك أزواج معينة من المدن فقط تربط بينها طرق، لذلك فإن العثور على المسار الصحيح ليس واضحًا. وهي مسألة نموذجية لخوارزم تكراري، حتى لو كان عدد المدن ضخمًا إلى حد بعيد، وحتى لو أن كل بحث تكراري سريع جدًّا سيستغرق زمنًا طويلًا للغاية.

حدد البروفيسور أدلمان وعلماء آخرون في مجال الحوسبة الجزيئية مجموعة من تفاعلات الإنزيم تناظر عمليات منطقية وحسابية ضرورية لحل مجموعة متنوعة من مسائل الحوسبة. ورغم أن العمليات الجزيئية للدي إن إيه تُنتج أخطاء نادرة الحدوث، فإن عدد ضفائر الدي إن إيه التي تم استخدامها كبير جدًّا إلى حد أن أي أخطاء جزيئية تصبح غير مهمة إحصائيًّا. وبذلك، على الرغم من معدل الخطأ الملازم لحوسبة الدي إن إيه وعمليات النسخ، فإن كمبيوتر الدي إن إيه يمكن الاعتماد عليه إلى حد بعيد إذا صمم على الوجه الصحيح.

بعد ذلك تم تطبيق كمبيوترات الدي إن إيه على نطاق من المسائل التوليفية الصعبة. ويعتبر كمبيوتر الدي إن إيه أكثر مرونة من الكمبيوتر الضوئي لكنه لا يزال محدودًا بتقنية تطبيق البحث المتوازي الكثيف بتجميع عناصر توليفات.[١٠] وهناك طريقة أخرى أكثر قوة لتطبيق قدرة حوسبة الدي إن إيه التي لم يجر استكشافها بعد. وأقدمها فيما يلي في قسم الحوسبة الكمية.

**كيفية حل مسألة البائع المتجول**
**باستخدام أنبوب اختبار من الدي إن إيه**

أحد خواص الدي إن إيه المفيدة هي قدرته على استنساخ نفسه، والمعلومات التي يحتوي عليها. ولعلاج مسألة البائع المتجول، يتبع البروفيسور أدلمان الخطوات التالية:

- يتم توليد ضفيرة دي إن إيه بشفرة وحيدة لكل مدينة.

- استنسخ كل ضفيرة منها (واحدة لكل مدينة) تريليونات المرات باستخدام عملية يطلق عليها «حافز بلمرة التفاعل المتسلسل PCR.»
- بعد ذلك، ضع نتائج الدي إن إيه (واحد لكل مدينة) معًا في أنبوب اختبار. تستخدم هذه الخطوة تجاذب الدي إن إيه لربط الضفائر معًا. سوف تتشكل الضفائر الأطول آليًا. وتمثل كل ضفيرة أطول طريق محتمل للمدن المتعددة. وتمثل الضفائر الصغيرة كل ارتباط بين مدينة وأخرى بطريقة عشوائية، لذلك لا يوجد يقين رياضي بأن كل ضفيرة مرتبطة تمثل إجابة صحيحة (تتابع المدن) ستكون قد تشكلت. ومع ذلك فإن عدد الضفائر كبير جدًا إلى درجة أنه مؤكد افتراضيًا أن على الأقل ضفيرة واحدة ــ وربما ملايين ــ ستتشكل وتمثل الإجابة الصحيحة.

الخطوات التالية تستخدم إنزيمات مصممة بشكل خاص لاستبعاد تريليونات الضفائر التي تمثل الإجابة الخاطئة، تاركة فقط الضفائر التي تمثل الإجابة الصحيحة:

- استخدم جزيئات يطلق عليها كبسولات التفجير لتدمير ضفائر الدي إن إيه التي لا تبدأ بمدينة البداية وأيضًا تلك التي لا تنتهي عند مدينة النهاية، واستنسخ هذه الضفائر المحافظة على بقائها (باستخدام حافز بلمرة التفاعل المتسلسل.)
- استخدم تفاعل إنزيم لاستبعاد ضفائر الدي إن إيه التي تمثل مسار رحلة أطول من العدد الإجمالي للمدن.
- استخدم تفاعل إنزيم لتدمير الضفائر التي لا تتضمن المدينة الأولى. وكرر العملية بالنسبة لكل مدينة.
- والآن، كل ضفيرة ظلت باقية تمثل الإجابة الصحيحة. استنسخ هذه الضفائر الباقية (باستخدام حافز بلمرة التفاعل المتسلسل) حتى يكون هناك مليارات من هذه الضفائر.
- باستخدام تقنية تسمى هجرة الجزيئات المعلقة في مجال كهربائي electrophoresis اقرأ تتابع الدي إن إيه لهذه الضفائر الصحيحة (كمجموعة). يشبه عرض البيانات مجموعة خطوط مميزة، التي تحدد التتابع الصحيح للمدن.

## المخ في البلورة

مقاربة أخرى تعتزم تنمية كمبيوتر من بلورة مباشرة في الأبعاد الثلاثة، بعناصر حوسبة في حجم الجزيئات الكبيرة في شبيكة بلورية crystalline lattice. هذه مقاربة أخرى للسيطرة على البعد الثالث.

وصف لامبرتوس هسلينك Lambertus Hesselink البروفيسور في ستانفورد نظامًا تخزن البيانات من خلاله في بلورة باعتبارها مصورًا تجسيميًّا — نمط تداخل ضوئي.[١١] وتتطلب هذه الطريقة في التخزين في الأبعاد الثلاثة مليون ذرة فقط لكل بت وبذلك يمكن أن تصل إلى تريليون بتة تخزين لكل سنتيمتر مكعب. وتأمل مشروعات أخرى في السيطرة على البنية الجزيئية المنتظمة للبلورات كعناصر حوسبة فعلية.

## الأنبوب النانوي: نوع من كرات الباكي

تقاسم ثلاثة أساتذة — رتشارد سمالي Richard Smalley وروبرت كيرل Robert Curl من جامعة رايس، وهارولد كروتو Harold Kroto من جامعة ساسيكس — جائزة نوبل في الكيمياء لعام ١٩٩٦ نظرًا لاكتشافهم عام ١٩٨٥ جزيئات على هيئة كرة القدم تتكون من عدد كبير من ذرات الكربون. ولأنها منتظمة على هيئة أنماط سداسية وخماسية مثل تصميمات أبنية آر. باكمنستر فولر R. Buckminster Fuller، أُطلق عليها «كرات الباكي buckyballs.» هذه الجزيئات غير العادية، التي تتشكل بصورة طبيعية في الأدخنة الساخنة للفرن، قوية إلى حد بعيد — أقوى مائة مرة من الصلب — وهي خاصية تشترك فيها مع اختراعات فولر المعمارية.[١٢]

وحديثًا أوضح د. سوميو إيجيما Sumio Iijima من شركة نيبون الكهربائية أنه بالإضافة إلى كرات الباكي الكروية، يحتوي البخار من مصابيح قوس الكربون أيضًا على جزيئات كربون ممدودة تشبه الأنابيب الطويلة.[١٣] ويطلق عليها الأنابيب النانوية nanotubes لأن حجمها بالغ الصغر — يمكن أن يساوي خمسة آلاف منها جنبًا إلى جنب سمك شعرة إنسان — وتتكون من نفس الأنماط الخماسية لذرات الكربون مثل كرات الباكي وتماثلها في القوة غير العادية.

والأكثر إثارة للاهتمام حول الأنبوب النانوي هو أنه يمكنه أن يؤدي الوظائف الكهربائية للعناصر المعتمدة على السليكون. إذا كان الأنبوب النانوي مستقيمًا، فإنه يوصل الكهرباء مثل أو أفضل من الموصلات المعدنية. وإذا تم عمل التواء خفيف حلزوني،

يبدأ الأنبوب النانوي في التصرف مثل الترانزستور. وكامل نطاق الأجهزة الكهربائية يمكن صناعته باستخدام الأنابيب النانوية.

وحيث إن الأنبوب النانوي هو في الأساس صفيحة من الجرافيت بسمك ذرة واحدة فقط، فإنه أصغر جدًّا من ترانزستورات السليكون في الشريحة المتكاملة. ومع أن هذه الأنابيب بالغة الصغر، فإنها أكثر متانة بكثير من أجهزة السليكون. ويضاف إلى ذلك أنها تتعامل مع الحرارة بشكل أفضل من السليكون وبذلك يمكن تجميعها في مجموعات مرتبة في الأبعاد الثلاثة بشكل أسهل من ترانزستورات السليكون. يتصور د. أليكس زيتل Alex Zettl، أستاذ الفيزياء في جامعة كاليفورنيا في بيركلي، أن عناصر المجموعات في الأبعاد الثلاثة للحوسبة المعتمدة على الأنبوب النانوي تشبه المخ الإنساني، لكنها أكثر كثافة منه وأسرع.

## الحوسبة الكمية: الكون في فنجان

الجسيمات الكمية هي الأحلام التي صُنعت منها المادة.

ديفيد موسر David Moser

حتى الآن كنا نتكلم عن مجرد الحوسبة الرقمية. هناك حاليًّا مقاربة أكثر قوة تسمى الحوسبة الكمية quantum computing. وهي تعد بالقدرة على حل مشاكل لا تستطيع حلها حتى الكمبيوترات الرقمية كثيفة التوازي. تسخِّر الكمبيوترات الكمية نتيجة متناقضة في ميكانيكا الكم. بالفعل، كنت أكرر، كل نتائج ميكانيكا الكم متناقضة.

لاحظ أن قانون العائدات المتسارعة والتنبؤات الأخرى في هذا الكتاب لا تعتمد على الحوسبة الكمية. تقوم التنبؤات في هذا الكتاب على نزعات قابلة للقياس بسهولة ولا تعتمد على الانقطاعات في التقدم التقني الذي حدث مع ذلك في القرن العشرين. وسوف تكون هناك بشكل لا يمكن تجنبه انقطاعات تقنية في القرن الحادي والعشرين، وسوف تتأهل الحوسبة الكمية بالتأكيد.

ما هي الحوسبة الكمية؟ الحوسبة الرقمية تقوم على «بتات» المعلومات التي إما أن تعمل أو لا تعمل — صفر أو واحد. وتنتظم البتات في تشكيلات أكبر مثل الأرقام، والأحرف، والكلمات، والتي بدورها يمكن أن تمثل افتراضيًّا أي شكل من المعلومات: نص، أصوات، صور، صور متحركة. والحوسبة الكمية، من الجانب الآخر، تقوم على البتات

الكمية qu-bits (تنطق كيو بيتس cue-bits)، وهي من الناحية الأساسية صفر وواحد في نفس الوقت. وتقوم البت الكمية على الغموض الأساسي المتأصل في ميكانيكا الكم. يظل الموقع، أو كمية الحركة، أو الحالات الأساسية الأخرى لجسيم «غامضة» حتى تؤدي عملية فك الغموض إلى أن «يقرر» الجسيم مكان وجوده، والمكان الذي كان فيه، والخواص التي يتصف بها. على سبيل المثال، افترض تيارًا من الفوتونات يصطدم بسطح زجاجي بزاوية ٤٥ درجة. حيث إن كل فوتون يصطدم بالزجاج، فإنه يختار أن يتحرك إما على خط مستقيم من خلال الزجاج أو ينعكس عن الزجاج. في الواقع سوف يتخذ كل فوتون كلا المسارين (في واقع الأمر ما هو أكثر من ذلك، انظر ما يلي) حتى ترغم عملية مراقبة واعية كل جسيم على تقرير المسار الذي يتخذه. وتمت البرهنة على هذا السلوك على نطاق واسع في العديد من التجارب المعاصرة.

في الكمبيوتر الكمي يمكن تمثيل البتات الكمية بخاصية ما ــ اللف النووي اختيار شائع ــ للإلكترونات الفردية. وإذا تم وضعها بالطريقة المناسبة، لن تكون الإلكترونات قد قررت اتجاه لفها النووي (إلى أعلى أو إلى أسفل) وسيكون ذلك في الحالتين في نفس الوقت. وعملية الرصد الواعي لحالتي لف الإلكترونات ــ أو أي ظاهرة تالية تعتمد على تحديد هاتين الحالتين ــ تسبب فك الغموض. وعملية فك الغموض هذه يطلق عليها اسم فك الالتحام الكمي quantum decoherence، وقد يكون العالم الذي نعيش فيه مكانًا محيرًا بالفعل.

أساس الكمبيوتر الكمي أنه يمكننا أن نقدم إليه مسألة، مع طريقة لاختبار الإجابة. يمكننا وضع فك الالتحام الكمي للبتات الكمية بحيث تكون هناك إجابة واحدة فقط تنجح في النجاة من فك الالتحام. والإجابات الراسبة تلغي بعضها بعضًا من الناحية الأساسية. وكما هو الأمر مع عدد من المقاربات الأخرى (مثلًا خوارزميات تكرارية ووراثية)، يكون أحد مفاتيح الحوسبة الكمية، مع ذلك، هو البيان الحريص للمسألة، بما في ذلك طريقة دقيقة لاختبار الإجابات الممكنة.

تمثل سلاسل البتات الكمية في نفس الوقت كل حل ممكن للمسألة. ويمثل البت الكمي الواحد حلين ممكنين. ويمثل بتان كميان مرتبطان أربع إجابات ممكنة. وكمبيوتر كمي بـ١٠٠٠ بتة كمية يمثل ١,٠٠٠٢ (ويساوي ذلك بالتقريب كسر عشري يتكون من ١، يتبعه ٣٠١ صفر) من الحلول الممكنة في نفس الوقت. وبيان المسألة ــ المعبر عنه باعتباره اختبارًا يجب تطبيقه على إجابات ممكنة ــ يتم تقديمه إلى سلسلة البتات الكمية بحيث تقوم البتات الكمية بفك الالتحام (أي أن كل بتة كمية تغير من حالة غموضها

«صفر–واحد» لكي تصبح بالفعل صفر أو واحد)، لتترك سلاسل الصفر والواحد وقد نجحت في الاختبار. ومن الناحية الأساسية فإن كل الحلول الممكنة ١٫٠٠٠٢ يكون قد تم تجربتها في نفس الوقت، ويبقى فقط الحل الصحيح.

ومن الواضح أن عملية قراءة الإجابة هذه من خلال فك الالتحام الكمي هي مفتاح الحوسبة الكمية. وهي أيضًا الجانب الأكثر صعوبة في فهمها. فكر مليًّا في التشابه التالي. يتعلم طلاب الفيزياء المبتدئين أنه إذا اصطدم الضوء بمرآة بزاوية معينة، فإنه يرتد عن المرآة في الاتجاه المعاكس وبنفس الزاوية مع السطح. لكن تبعًا للنظرية الكمية، ليس ذلك ما يحدث. كل فوتون يرتد بالفعل من كل نقطة ممكنة على المرآة، ويحاول أساسًا تجربة كل مسار ممكن. وتلغي الغالبية العظمى من هذه المسارات بعضها البعض، ويبقى فقط المسار الذي تتنبأ به الفيزياء التقليدية. فكر في المرآة كما لو أنها تمثل مسألة مطلوبًا حلها. الحل الصحيح فقط — الضوء يرتد بزاوية تساوي زاوية السقوط — هو الذي ينجو من كل عمليات الإلغاء الكمي. يعمل الكمبيوتر الكمي بنفس الطريقة. يتم وضع اختبار صحة إجابة عن مسألة ما بطريقة تلغي الغالبية العظمى من الإجابات الممكنة — تلك التي لا تنجح في الاختبار — كل منها الآخر، ويبقى فقط تتالي البتات التي تنجح في الاختبار. لذلك فإن المرآة العادية يمكن اعتبارها نموذجًا خاصًّا من الكمبيوترات الكمية، ومع ذلك فإنها على الأصح تحل مسألة بسيطة.

وكمثال أكثر فائدة، تعتمد شفرات التصفير encryption codes على تحديد عوامل رقم كبير (تحديد العوامل factoring يعني تحديد أي من الأرقام الصغيرة، التي عندما يتم ضربها معًا تنتج أرقامًا أكبر). تحديد عوامل رقم بعدة مئات من البتات مستحيل افتراضيًّا على أي كمبيوتر رقمي حتى لو كان متاحًا لنا مليارات السنوات لننتظر الإجابة. ويمكن لكمبيوتر كمي أن يجرب كل تجميع ممكن من العوامل في نفس الوقت وأن يفك الشفرة في أقل من جزء من مليار من الثانية (توصيل الإجابة إلى المراقبين البشريين قد يستغرق وقتًا أطول قليلًا). والاختبار الذي يطبق بواسطة الكمبيوتر الكمي خلال مرحلة فك الغموض المهمة شديد البساطة: مجرد ضرب عامل في آخر وإذا كانت النتيجة تساوي شفرة التصفير، يكون لدينا حل للمسألة.

قيل إن الكمبيوتر الكمي بالنسبة للكمبيوتر الرقمي مثل القنبلة الهيدروجينية بالنسبة للمفرقعة النارية. تلك عبارة جديرة بالاهتمام عندما نعتبر الحوسبة الرقمية ثورية تمامًا في حد ذاتها. يعتمد التشابه على الملاحظة التالية. فكر مليًّا (على الأقل من الناحية النظرية) في كمبيوتر بحجم الكون (غير كمي) حيث كل نيوترون، وإلكترون،

وبروتون في الكون قد تحول إلى كمبيوتر ، وكل واحد (أي كل جسيم في الكون) يستطيع حساب تريليونات من العمليات الحسابية في الثانية. والآن تخيل مسائل معينة قد يعجز هذا الكمبيوتر الفائق بحجم الكون عن حلها حتى لو قمنا بتشغيل هذا الكمبيوتر حتى الانفجار العظيم التالي أو حتى نهاية حياة كل نجوم الكون — من نحو عشرة إلى ثلاثين مليار سنة. هناك الكثير من الأمثلة عن مثل هذه المسائل العسيرة إلى حد بعيد، على سبيل المثال فك شفرات التصفير التي تستخدم آلاف البتات، أو حل مسألة البائع الجوال بألف مدينة. بينما تكون الحوسبة الرقمية بالغة الضخامة (بما في ذلك كمبيوترنا النظري بحجم الكون) عاجزة عن حل هذه الفئة من المسائل، يمكن لكمبيوتر كمي بحجم ميكروسكوبي أن يحل مثل هذه المسائل في أقل من جزء من مليار من الثانية.

هل يمكن تنفيذ الكمبيوترات الكمية؟ التطورات الحديثة، النظري منها والعملي، تدل على أن الإجابة هي نعم. رغم أن الكمبيوتر الكمي العملي لم يتم تصنيعه بعد، فإن وسيلة السيطرة على فك الارتباط المطلوب قد تم التوصل إليها. بالفعل صنع إيزاك شوانج Isaac Chuang من مختبر لوس ألاموس القومي ونيل جرشنفلد Neil Gershenfeld من معهد ماساتشوستيس للتقنية كمبيوترًا كميًّا باستخدام ذرات الكربون في جزيء ألانين alanine. استطاع كمبيوتر هما الكمي فقط جمع واحد وواحد، لكن هذه مجرد بداية. وقد كنا نعتمد، بالطبع، على تطبيقات عملية لتأثيرات كمية أخرى، مثل نفقية الإلكترون في الترانزستورات، لعدة عقود.[١٤]

## كمبيوتر كمي في فنجان قهوة

أحد مصاعب تصميم كمبيوتر كمي عملي هو أنه يحتاج لأن يكون بالغ الصغر، وهو من الناحية الجوهرية في حجم ذرة أو جزيء، لتوجيه التأثيرات الكمية الدقيقة. لكنه أمر بالغ الصعوبة المحافظة على عدم تحرك الذرات والجزيئات الفردية هنا وهناك بسبب التأثيرات الحرارية. ويضاف إلى ذلك، تكون الجزيئات الفردية غير مستقرة إلى حد بعيد بصورة عامة فلا يمكن صناعة آلة يمكن الاعتماد عليها. وبسبب هذه المشكلات، توصل شوانج وجرشنفلد إلى اختراق نظري. حلهما هو أخذ فنجان فيه سائل واعتبار كل جزيء كمبيوتر كمي.

والآن بدلًا من كمبيوتر كمي بحجم جزيء مفرد غير مستقر، لديهما فنجان فيه نحو مائة مليار تريليون كمبيوتر كمي. ليست الفكرة هنا مزيدًا من التوازي الكثيف، ولكن

على الأصح إفراط ضخم. وبهذه الطريقة، لا يكون هناك تأثير للسلوك المتزعزع الذي لا يمكن تجنبه لبعض الجزيئات على السلوك الإحصائي لكل جزيئات السائل. وهذه المقاربة في استخدام السلوك الإحصائي لتريليونات الجزيئات للتغلب على نقص مصداقية الجزيء المفرد يشبه استخدام البروفيسور إدلمان لتريليونات ضفائر الدي إن إيه للتغلب على نقطة مماثلة في حوسبة الدي إن إيه.

وتحل هذه المقاربة إلى الحوسبة الكمية أيضًا مشكلة قراءة الإجابة بتة ببتة دون أن تسبب لهذه البتات الكمية التي لا يكون قد تم قراءتها بعدُ فك تماسك قبل الأوان. عرَّض شوانج وجرشنفلد كمبيوتر هما السائل إلى نبضات موجة لاسلكية، التي تؤدي إلى استجابة الجزيئات بإشارات تدل على حالة اللف لكل إلكترون. تسبب كل نبضة بعضًا من فك ارتباط غير مرغوب فيه، ولكن، من جديد، فإن فك الارتباط هذا لا يؤثر على السلوك الإحصائي لتريليونات الجزيئات. وبهذه الطريقة، تصبح التأثيرات الكمية مستقرة ويمكن الاعتماد عليها.

ويصنع شوانج وجرشنفلد حاليًّا كمبيوترًا كميًّا يمكنه تحديد عوامل الأرقام الصغيرة. ومع أن هذا النموذج المبكر لن ينافس الكمبيوترات الرقمية التقليدية، فسيكون دليلًا على صلاحية الحوسبة الكمية. ويبدو أن على رأس قائمتهما كسائل كمي مناسب قهوة جاوا المنقوعة حديثًا، التي لها، كما يقول جرشنفلد، «صفات إثارة مشاعر غير عادية فوق ذلك.»

## حوسبة كمية بشفرة الحياة

تبدأ الحوسبة الكمية في اللحاق بالحوسبة الرقمية عندما يمكننا ربط على الأقل ٤٠ بتة كمية. يمكن لكمبيوتر كمي من ٤٠ بتة كمية تقييم تريليونات الحلول الممكنة في نفس الوقت، وهو ما يتلاءم مع الكمبيوترات الفائقة الأسرع. وعند ٦٠ بتة، يمكننا إجراء مليون تريليون تجربة في نفس الوقت. وعندما نصل إلى مئات البتات الكمية، يمكن لقدرات الكمبيوتر الكمي أن تقهر إلى حد بعيد أي كمبيوتر رقمي يتصوره العقل.

لذلك هذه هي فكرتي. قوة الكمبيوتر الكمي تعتمد على عدد من البتات الكمية يمكننا ربطها معًا. علينا أن نعثر على جزيء كبير مصمم بشكل خاص للاحتواء على كميات كبيرة من المعلومات. ولقد صمم التطور هذا الجزيء: الدي إن إيه. يمكننا بسهولة ابتكار أي حجم جزيء دي إن إيه نرغب فيه من بضعة عشرات إلى آلاف من درجات

سلم النوكليوتيد. إذن مرة أخرى نجمع فكرتين أنيقتين — في هذه الحالة كمبيوتر سائل الدي إن إيه وكمبيوتر السائل الكمي — لنتوصل إلى حل أكبر من مجمل الأجزاء. بوضع تريليونات جزيئات الدي إن إيه في فنجان، هناك إمكانية بناء كمبيوتر كمي تكراري إلى حد بعيد — ومن ثم يمكن الاعتماد عليه — بعدد البتات الكمية التي نهتم بتوجيهها. تذكر أنك تقرأ عن ذلك هنا لأول مرة.

## افترض أن لا أحد يتفحص الإجابة بأية طريقة

اعتبر أن الغموض الكمي كمبيوتر كمي يُعتمد عليه عبارة عن فك تماسك، أي فك غموض، عندما يرصد كيان واع ظاهرة الغموض. الكيانات الواعية في هذه الحالة هي نحن، مستخدمو الكمبيوتر الكمي. لكن عند استخدام كمبيوتر كمي، نحن لا ننظر مباشرة إلى حالات اللف النووي للإلكترونات الفردية. تقاس حالات اللف بجهاز يجيب بدوره على أسئلة طُلب من الكمبيوتر الكمي أن يحلها. بعد ذلك تتم معالجة هذه القياسات بأجهزة إلكترونية أخرى، ثم يُجرى المزيد من التعامل معها بأجهزة حوسبة تقليدية، وأخيرًا تُعرض أو تُطبع على قطعة من الورق.

افترض أنه لم يكن هناك إنسان أو أي كيان واع للنظر إلى المطبوعة. في هذا الموقف، لم تكن هناك ملاحظة واعية، ومن ثم ليس هناك فك تماسك. وكما أوضحت سابقًا، يزعج العالَم الفيزيائي نفسه فقط ليظهر نفسه في حالة فك غموض عندما يقرر واحد منا نحن الكيانات الواعية أن يتفاعل معه. لذلك فإن الصفحة مع الإجابة تكون غامضة، وغير محددة — حتى بشرط أن ينظر إليها كيان واع. عندئذ وعلى الفور يُزال كل الغموض بلا رجعة، وتكون الإجابة هناك على الصفحة. والمفهوم ضمنًا أن الإجابة لا تكون هناك حتى ننظر إليها.

## لأي شيء هي صالحة؟

المتطلب المهم للحوسبة الكمية هي طريقة لاختبار الإجابة. ولا يوجد دائمًا مثل هذا الاختبار. ومع ذلك، يمكن لكمبيوتر كمي أن يكون عالم رياضيات عظيمًا. يمكنه في نفس الوقت أن يأخذ في اعتباره كل تجميع ممكن للبديهيات والفرضيات التي سبق حلها (في حدود قدرة بتة كمية لكمبيوتر كمي) لإثبات أو دحض بصورة افتراضية أي حدس قابل

للإثبات أو الدحض. ومع أن البرهان الرياضي يكون من الصعب غالبًا إلى حد بعيد التوصل إليه، فإن إثبات صحته يكون واضحًا في العادة، لذلك فإن المقاربة الكمية مناسبة تمامًا.

ومع ذلك فإن الحوسبة الكمية ليست قابلة للتطبيق بشكل مباشر على مسائل مثل مباريات رقعة اللعب. وبينما تكون حركة الشطرنج «الماهرة» لرقعة ما هي المثال الجيد لمسألة حوسبة محدودة لكنها عسيرة، ليست هناك طريقة سهلة لاختبار الإجابة. إذا كان شخص أو عملية عليه أن يقدم إجابة، ليس هناك طريقة لاختبار مصداقيته أكثر من إنشاء شجرة الحركة والحركة المضادة التي تولِّد الإجابة أولًا. حتى بالنسبة لحركات «جيدة»، لن يكون للكمبيوتر الكمي تفوق واضح على الكمبيوتر الرقمي.

ماذا عن إبداع فن ما؟ هنا يمكن أن يكون للكمبيوتر الكمي قيمة كبيرة. يتضمن ابتكار عمل فني حل سلسلة، ربما سلسلة ممتدة، من المشاكل. يمكن لكمبيوتر كمي أن يضع في اعتباره مجموعة من العناصر ــ كلمات، ملاحظات، لمسات رقيقة ــ لأي من هذه القرارات. ونظل في حاجة إلى طريقة لاختبار كل إجابة لتتالي المشاكل الجمالية، لكن الكمبيوتر الكمي يمكن أن يكون مثاليًّا في البحث على الفور خلال كون من الاحتمالات.

## التصفير مُدمَرًا ومُعَادًا إحياؤه

كما سبق التنويه، فإن المشكلة الكلاسيكية أن الكمبيوتر الكمي مناسب على أكمل وجه لفك شفرات التصفير encryption، الذي يعتمد على تحديد عوامل الأعداد الكبيرة. ويتم قياس قوة شفرة تصفير بعدد من البتات يحتاج إلى تحديد عوامله. على سبيل المثال، من غير القانوني في الولايات المتحدة تصدير تقنية تصفير تستخدم أكثر من ٤٠ بتة (٥٦ بتة إذا قدمت توضيحات إلى سلطات تنفيذ القانون). وليست طريقة الـ٤٠ بتة آمنة جدًّا. في سبتمبر ١٩٩٧، كان في استطاعة إيان جولدبرج Ian Goldberg الطالب في جامعة كاليفورنيا في بيركلي أن يفك شفرة ٤٠ بتة في ثلاث ساعات ونصف ساعة باستخدام شبكة من ٢٥٠ كمبيوترًا صغيرًا.[15] وشفرة ٥٦ بتة أفضل بعض الشيء (١٦ بتة أفضل في واقع الأمر). وبعد عشرة أشهر كان في استطاعة جون جيلمور John Gilmore، الناشط في خصوصية الكمبيوتر، وبول كوشر Paul Kocher، خبير تصفير، فك شفرة ٥٦ بتة في ٥٦ ساعة باستخدام كمبيوتر مصمم بشكل خاص كلفهما ٢٥٠ ألف دولار لتطويره. لكن أي كمبيوتر كمي يمكنه بسهولة تحديد عوامل أي عدد بأي حجم (في حدود قدرته). ويمكن لتقنية الكمبيوتر الكمي من الناحية الأساسية تدمير التصفير الرقمي.

لكن كما أن التكنولوجيا تسحب فإنها تعطي أيضًا. يمكن لتأثير كمي مرتبط بالموضوع أن يقدم طريقة جديدة للتصفير لا يمكن أبدًا فكها. ومرة أخرى، تذكَّر أن من وجه نظر قانون العائدات المتسارعة، «أبدًا» ليست بالطول الذي تعودنا عليه.

هذا التأثير يطلق عليه التشابك الكمي quantum entanglement. ولدي أينشتاين، الذي لم يكن نصيرًا متحمسًا للميكانيكا الكمية، اسم مختلف لهذه الظاهرة، فهو يسميها «فعل شبحي على مسافة بعيدة».[١٦] وأثبت صحة هذه الظاهرة حديثًا د. نيكولاس جيسين Nicolas Gisin من جامعة جنيف في تجربة حديثة عبر مدينة جنيف. أرسل د. جيسين فوتونين توأمين إلى اتجاهين متضادين من خلال ألياف ضوئية. وبمجرد أن أصبح الفوتونان متباعدان بمسافة سبعة أميال، اصطدم كل منهما بجسم مسطح من الزجاج يمكن أن يرتدا عنه أو يخترقاه. بذلك كان على كل منهما أن يتخذ قرارًا للاختيار بين مسارين متساويين محتملين. وحيث إنه لم يكن هناك أي اتصال بين الفوتونين، يمكن للفيزياء الكلاسيكية أن تتنبأ بأن قراريهما سيكونان مستقلين. لكن كلًّا منهما اتخذ نفس القرار. وفعلا ذلك في نفس اللحظة الزمنية، وحتى لو كان هناك مسار اتصال مجهول بينهما، فإن الوقت لم يكن كافيًا لانتقال الرسالة من فوتون إلى الآخر بسرعة الضوء. كان الجسيمان في حالة تشابك كمي، ويتصلان مباشرة أحدهما بالآخر بصرف النظر عن المسافة الفاصلة بينهما. وتكرر هذا التأثير الجدير بالثقة من خلال الكثير من مثل أزواج الفوتونات هذه.

يحدث الاتصال الواضح بين الفوتونين بسرعة أعلى كثيرًا جدًّا من سرعة الضوء، من الناحية النظرية، وتعتبر هذه السرعة لانهائية حيث إن فك التماسك بين قراري انتقال الفوتونين، تبعًا للنظرية الكمية، يحدث بالضبط في نفس اللحظة. كانت تجربة د. جيسين على درجة كافية من الحساسية حتى إنها أثبتت أن الاتصال كان أسرع من سرعة الضوء بعشرة آلاف مرة على الأقل.

إذن، هل تخرق هذه الظاهرة نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين، التي تفترض أن سرعة الضوء هي أعلى سرعة يمكننا أن ننقل بها المعلومات؟ والإجابة لا — ليس هناك معلومات يتم نقلها بواسطة التشابك الكمي بين الفوتونين. قرار الفوتونين عشوائي — عشوائية كمية عميقة — والعشوائية ليست على وجه الدقة معلومات. يصل كل من مرسل ومستقبل الرسالة في نفس الوقت إلى القرارات العشوائية المتطابقة للفوتونات المتشابكة، وهو ما يستخدم في فك الشفرة الرسالة وفي تشفيرها، على التوالي. لذلك فإننا نتصل عشوائيًّا — وليس بالمعلومات — عند سرعات أعلى بكثير من سرعة

الضوء. والطريقة الوحيدة التي يمكننا من خلالها تحويل القرارات العشوائية للفوتونات إلى معلومات هي إذا استطعنا تنقيح التتالي العشوائي لقرارات الفوتون. لكن تنقيح هذا التتالي العشوائي قد يتطلب رصد قرارات الفوتون، والذي بدوره قد يسبب فك تماسك كمي، وهو ما قد يدمر التشابك الكمي. لذلك فإن نظرية أينشتاين مصونة.

وحتى لو لم نتمكن على الفور من نقل معلومات باستخدام التشابك الكمي، فإن نقل العشوائية يظل مفيدًا إلى حد بعيد. فهو يتيح لنا إعادة إحياء عملية التصفير التي قد تدمرها الحوسبة الكمية. إذا كان مرسل ومستقبل الرسالة على طرفي ليفة ضوئية، يمكنهما أن يستخدما على وجه الدقة القرارات العشوائية المتماثلة لتيار فوتونات متشابكة لفك شفرة رسالة ما وتشفيرها على التوالي. وحيث إن التصفير عشوائية من الناحية الأساسية وغير متكرر، لا يمكن فكه.

والتنصت مستحيل أيضًا، لأن ذلك قد يسبب فك تماسك كمي يمكن رصده على كلا الطرفين. لذلك فإن الخصوصية مصانة.

لاحظ أنه في حالة التصفير الكمي، فإننا ننقل الشفرة على الفور. وسوف تصل الرسالة ببطء أكثر بكثير ــ فقط بسرعة الضوء.

## الوعي الكمي منقحًا

احتمال تنافس الكمبيوترات مع النطاق الكامل للقدرات البشرية يولِّد مشاعر تكون غالبًا متناقضة، وليس هناك نقص أيضًا في المجادلات حول أن هذا الشبح مستحيل نظريًّا. وأحد هذه المجادلات الأكثر إثارة للاهتمام يأتي من روجر بنروز Roger Penrose عالم الرياضيات والفيزياء في أكسفورد.

في كتابه «عقل جديد للإمبراطور»، الذي احتل مكانه في أفضل الكتب مبيعًا عام ١٩٨٩، يعرض بنروز حدسين للدراسة.[١٧] للأول علاقة بفرضية أثبتها عالم الرياضيات التشيكي كيرت جودل Kurt Godel وهي «مُبَرْهَنة عدم الاكتمال» الشهيرة التي وُصفت بأنها أكثر المبرهنات شهرة في الرياضيات، والتي تقول بأنه في نظام رياضي ذي قوة كافية لتوليد أعداد طبيعية، يوجد حتمًا قضايا لا يمكن إثباتها أو نقضها. تلك كانت واحدة من تبصرات القرن العشرين تلك التي قلبت نظام التفكير في القرن التاسع عشر.

مبرهنة جودل الاستنتاجية أن هناك قضايا رياضية لا يمكن أن تؤكدها خوارزمية. من حيث الجوهر، تتطلب مسائل جودل المستحيلة هذه عددًا لانهائيًّا من الخطوات لحلها.

لذلك فإن أول حدس لبنروز هو أن الآلات لا يمكنها أن تفعل ما يفعله البشر لأن الآلات يمكنها فقط تتبع خوارزمية ما. وأي خوارزمية لا يمكنها أن تحل مشكلة لجودل لا يمكن حلها. لكن البشر يمكنهم ذلك. ومن ثم فإن البشر أفضل.

ويستمر بنروز ليقرر أن البشر يمكنهم حل مسائل لا حل ممكن لها بسبب أن أمخاخنا تقوم بالحوسبة الكمية. وفيما بعد استجابة للنقد بأن الخلايا العصبية أكبر من أن تظهر عليها تأثيرات كمية، يذكر بنروز تكوينات صغيرة في الخلايا العصبية تسمى أُنيبيبات دقيقة microtubules قد يكون في استطاعتها إجراء الحوسبة الكمية.

ومع ذلك فإن الحدس الأول لبنروز — أن البشر متفوقين جوهريًّا على الآلات — غير مقنع لأسباب ثلاثة على الأقل:

(١) حقًّا لا يمكن للآلات أن تحل مسائل جودل غير القابلة للحل. لكن البشر لا يمكنهم حلها أيضًا. يمكن للبشر فقط تخمينها. يمكن للكمبيوترات أن تخمن بالمثل، وهي في السنوات الحديثة تقوم بعمل في هذا المجال أفضل من البشر.

(٢) على أي حال، لا تتيح الحوسبة الكمية حل مسائل جودل المستحيلة أيضًا. يتطلب حل المسائل المستحيلة لجودل خوارزمية لها عدد خطوات لانهائي. يمكن للحوسبة الكمية أن تحول مسألة عسيرة لا يمكن حلها على كمبيوتر تقليدي خلال تريليونات السنوات إلى حوسبة آنية. لكنها تظل عاجزة عن الحوسبة اللا نهائية.

(٣) حتى لو كان (١) و(٢) السابقين خاطئين، أي إذا استطاع البشر حل مسائل جودل المستحيلة وفعلوا ذلك بسبب قدرتهم على الحوسبة الكمية، يظل ذلك لا يمنع الحوسبة الكمية عن الآلات. والعكس صحيح. إذا كان المخ البشري يُظهر حوسبة كمية، فإن هذا يثبت فقط أن الحوسبة الكمية ممكنة، وهذا الأمر الخاضع للقوانين الطبيعية يمكن أن يقوم بالحوسبة الكمية. أي آليات في الخلايا العصبية البشرية تستطيع الحوسبة الكمية، مثل الأُنَيْبيب الدقيق، يمكن نسخ آلة منها. الآلات تستخدم التأثيرات الكمية — النفقية — في تريليونات الأجهزة (أي الترانزستورات) في الوقت الراهن.[١٨] وليس هناك ما يفترض أن مخ الإنسان له مدخل مقصور عليه إلى الحوسبة الكمية.

الحدس الثاني لبنروز أكثر صعوبة في تحليله. الموضوع أن الكيان الذي يُظهر حوسبة كمية يكون واعيًا. إنه يقول أن الحوسبة الكمية البشرية هي التي تفسر وعيها. بذلك فإن الحوسبة الكمية ـــ فك التماسك الكمي ـــ هي التي تمنح الوعي.

ونحن نعرف الآن أن هناك ارتباطًا بين الوعي وفك التماسك الكمي. أي أن الرصد الواعي لعدم يقين كمي يسبب فك التماسك الكمي. ومع ذلك، فإن بنروز يؤكد وجود ارتباط في الاتجاه المعاكس. وهذا لا ينتج منطقيًا. بالطبع الآلات الكمية ليست منطقية بالمعنى الشائع ــ إنها تتبع منطقًا كميًا (بعض المراقبين يستخدمون كلمة «غريب strange» لوصف المنطق الكمي). لكن حتى بتطبيق المنطق الكمي، لا يبدو أن الحدس الثاني لبنروز يخضع لذلك. ومن الجانب الآخر، أنا لا أستطيع طرحه جانبًا لأن هناك صلة قوية بين الوعي وفك التماسك الكمي بأن الأول يسبب الثاني. فكرت مليًا في هذه القضية خلال ثلاث سنوات، وظللت عاجزًا عن قبولها أو رفضها. ربما قبل كتابة كتابي المقبل سيكون لديّ رأي عن الحدس الثاني لبنروز.

## هندسة عكسية لتصميم مؤكد: المخ البشري

بالنسبة للكثير من الناس يعتبر العقل آخر مأوى للألغاز في مواجهة الانتشار متجاوز الحدود للعلم، ولا يقبلون فكرة أن العلم يغمر آخر جزء من الأرض المجهولة.

هيرب سيمون Herb Simon
كما اقتبس دانيل دينيه Daniel Dennett

ألا يمكننا أن ندع الناس يكونون هم أنفسهم، ويتمتعون بالحياة على طريقتهم؟ أنت تحاول أن تجعل الآخر هو أنت. ويكفي أنت واحد.
رالف فالدو إمرسون Ralph Waldo Emerson

بالنسبة للحكماء المحافظين على القديم ... كان الحل في المعرفة والانضباط الذاتي ... وفي ممارسة هذه التقنية، يكونون مستعدين حتى الآن لفعل أشياء يُنظر إليها باعتبارها مثيرة للنفور وينقصها الوقار ـــ مثل الحفر للعثور على الميت وتشويهه.

سي. إس. لويس C. S. Lewis

الذكاء هو: (أ) أكثر الظواهر تعقيدًا في الكون، أو (ب) عملية بالغة البساطة.

الإجابة: بالطبع، هي (ج) أنه كلا ما سبق. إنه نوع آخر من تلك الثنائيات العظيمة التي تجعل الحياة مثيرة للاهتمام. لقد تحدثنا بالفعل عن بساطة الذكاء: النماذج الإرشادية البسيطة والعملية البسيطة للحوسبة. دعنا نتحدث عن التعقد.

## هل المخ ضخم بما يكفي؟

هل مفهومنا عن عمل الخلية العصبية الإنسانية وتقديراتنا حول عدد الخلايا والوصلات في المخ البشري تتسق مع ما نعرفه حول قدرات المخ؟ ربما تكون الخلايا العصبية البشرية أكثر قدرة بكثير مما نعتقد. إذا كان الأمر كذلك، فإن بناء آلة على المستوى البشري من القدرات قد يستغرق وقتًا أكثر من المتوقع.

نجد أن تقديرات عدد التصورات ـ «القطع الصغيرة» من المعرفة ـ التي يوجهها خبير بشري في مجال معين ثابتة بصورة لافتة للأنظار: نحو ٥٠ إلى ١٠٠ ألف. يبدو هذا المدى التقريبي صحيحًا على نطاق واسع من المساعي البشرية: عدد المواقع على الرقعة التي يمكن توجيهها بواسطة اللاعب المتميز في الشطرنج، أو التصورات التي يبرع فيها خبير في مجال تقني، مثل عالم الفيزياء، ومفردات اللغة لدى كاتب (استخدم شكسبير ٢٩ ألف كلمة،[١٩] ويستخدم هذا الكتاب كمية أقل بكثير).

وهذا النوع من المعرفة المهنية هو، بالطبع، مجرد مجموعة صغيرة من المعرفة نحتاج إليها لأداء العمل باعتبارنا كائنات بشرية. والمعرفة الأساسية بالعالم، بما في ذلك ما يُطلق عليه الفطرة السليمة، أكثر اتساعًا. لدينا أيضًا قدرة على التعرف على الأنماط: اللغة المنطوقة، واللغة المكتوبة، والأشياء، والأوجه. ولدينا مهاراتنا: السير، والكلام، والإمساك بالكرات. وأعتقد أن التقدير المتحفظ إلى حد معقول للمعرفة العامة لإنسان نموذجي أكبر ألف مرة من معرفة خبيرة في مجالها المهني. ويقدم لنا هذا تقديرًا تقريبيًّا بـ ١٠٠ مليون قطع صغيرة ـ أجزاء من الفهم، والتصورات، والأنماط، والمهارات الخاصة ـ لكل إنسان. وكما سنرى لاحقًا، حتى لو أن هذا التقدير منخفض (بمعامل أكثر من ألف)، يظل المخ ضخمًا بما يكفي.

يُقدر عدد الخلايا العصبية في المخ الإنساني بشكل تقريبي بـ١٠٠ مليار، مع متوسط ١٠٠٠ وصلة لكل خلية، بإجمالي ١٠٠ تريليون وصلة. بـ١٠٠ تريليون وصلة و١٠٠ مليون قطعة صغيرة من المعارف (بما في ذلك الأنماط والمهارات)، نحصل على تقدير بنحو مليون وصلة لكل قطعة صغيرة من المعرفة.

يستخدم كمبيوترنا الذي يحاكي الشبكات العصبية تشكيلة من أنواع نماذج الخلايا العصبية، وكلها بسيطة نسبيًّا. ويبدو أن جهود إتاحة نماذج إلكترونية تفصيلية عن الخلايا العصبية الحقيقية لدى الثدييات توضح أنه بينما تكون الخلايا العصبية الحيوانية أكثر تعقيدًا من نماذج الكمبيوتر النمطية، فإن الفارق في التعقد يكون متواضعًا. وحتى باستخدام أنواع كمبيوتراتنا بالخلايا العصبية الأكثر بساطة، نجد أنه يمكننا نمذجة قطعة صغيرة من المعرفة ـ وجه، شكل شخص، ظاهرة، معنى كلمة ـ تستخدم القليل الذي يصل إلى ألف وصلة لكل قطعة صغيرة من المعرفة. بذلك فإن تقديرنا التقريبي بمليون وصلة عصبية في المخ البشري لكل قطعة صغيرة من المعرفة البشرية يبدو معقولاً.

بالفعل تبدو كمية طائلة. إذن يمكننا جعل تقديري (حل عدد القطع الصغيرة من المعرفة) أكبر بألف مرة، ويظل الحساب صحيحًا. ومع ذلك، من المرجح أن تشفير المخ للمعرفة أقل كفاءة من الطرق التي نستخدمها في آلاتنا. ويتسق عدم الكفاءة الواضح هذا مع فهمنا أن المخ البشري مصمم بشكل محافظ. يعتمد المخ على درجة كبيرة من الإفراط وكثافة قليلة نسبيًّا من تخزين المعلومات لكسب القابلية للاعتماد عليه وللاستمرار في العمل بكفاءة رغم المعدل العالي لفقد الخلايا العصبية مع تقدمنا في العمر.

استنتاجي أنه لا يبدو أننا نحتاج إلى التمعن في نموذج معالجة معلومات للخلية العصبية الفردية التي تعتبر أكثر تعقدًا بكثير مما نفهم في الوقت الراهن لكي نفسر القدرة البشرية. المخ ضخم بما يكفي.

نعود للمعرفة، التي تنطلق من بذور بسيطة لكنها تصبح في النهاية مستفيضة كلما تفاعلت عملية تجميع المعرفة مع عالم الشواش الحقيقي. في الواقع، هذه هي كيفية نشوء الذكاء. لقد كان نتيجة عملية تطورية نطلق عليها الانتقاء، وهي في حد ذاتها نموذج بسيط، يأخذ تعقده من اضطراب بيئته. نرى هذه الظاهرة عندما نوجه التطور في الكمبيوتر. نبدأ بصيغة بسيطة، ونضيف عملية التكرار التطوري البسيطة ونجمع عليهما بساطة الحوسبة الضخمة. وتكون النتيجة في الغالب خوارزميات معقدة، قديرة وذكية.

لكننا لا نحتاج إلى محاكاة كل تطور المخ البشري لكي نستخرج كل الأسرار المتشابكة التي يحتوي عليها. تمامًا كما تفعل شركة تقنية عندما تحلل و«تهندس بشكل عكسي» (تحلل لفهم طرق) منتجات منافسة، يمكننا أن نفعل نفس الشيء مع المخ البشري. إنه، في نهاية الأمر، النموذج الأفضل في متناول يدنا حول عملية ذكية. يمكننا استخراج البنية، والتنظيم، والمعرفة المتأصلة في المخ البشري لكي نعجل إلى درجة كبيرة فهمنا لكيفية تصميم الذكاء في آلة. وبسبر أغوار الدوائر الكهربائية في المخ، يمكننا نسخ وتقليد تصميم مؤكد، تصميم احتاج من مصممه الأصلي إلى عدة مليارات من السنوات لتطويره. (وليس حتى حق نشر وتأليف).

وكما نقترب من المقدرة الحوسبية لمحاكاة المخ البشري — لن نفعل ذلك الآن، لكننا سنصل إلى ذلك بعد نحو عقد من الزمن — فإن مثل هذا الجهد سيستمر بشدة. حقًا لقد بدأ هذا السعي بالفعل.

على سبيل المثال، فإن شريحة البصر المشبكية هي من الناحية الأساسية نسخة من التنظيم العصبي، مطبقة على سليكون بالطبع، وليست فقط الشبكية الإنسانية، ولكن المراحل الأولى من المعالجة البصرية لدى الثدييات. لقد حصلت على جوهر خوارزم المعالجة البصرية المبكرة لدى الثدييات، وهو خوارزم يطلق عليه تصفية المحيط المركزي. إنها ليست شريحة خاصة معقدة، ومع ذلك تحصل واقعيًّا على جوهر المراحل الأولى للبصر الإنساني.

هناك رأي شخصي شائع بين المراقبين، المطلعين وغير المطلعين، بأن مشروع هندسة عكسية مثل هذا هو أمر يتعذر تنفيذه. ينزعج هوفستادتر من أن «أمخاخنا قد تكون بالغة الضعف في فهمنا لأنفسنا».[٢٠] لكن ليس هذا ما نجده. بينما نسبر أغوار الدوائر الكهربائية للمخ، نجد أن الخوارزميات المتوازية إلى حد بعيد بعيدة عن أن تكون غامضة. وليس هناك شيء أيضًا مثل عدد لانهائي منها. هناك مئات من المناطق المتخصصة في المخ،

وله على الأصح بنية منمقة، نتيجة تاريخه البعيد. واللغز بكامله لا يتجاوز فهمنا. ولن يتجاوز بالتأكيد فهم آلات القرن الحادي والعشرين.

المعرفة هناك بالضبط أمامنا، أو على الأصح فينا. ليس من المستحيل الوصول إليها. دعنا نبدأ بالسيناريو الأكثر وضوحًا، وهو قابل للتنفيذ حاليًّا (على الأقل للبدء فيه).

نبدأ بتجميد مخ مصاب بالمرض حديثًا.

والآن، قبل أن أتلقى الكثير من ردود الفعل الساخطة، دعني أرتد عباءة ليوناردو دا فنشي. لقد تلقى ليوناردو أيضًا ردود فعل مزعجة من معاصريه. في تلك الحالة كان هناك شخص قد سرق جثثًا من مكان حفظ الجثث، ونقلها عائدًا إلى منزله، ثم فككها. حدث ذلك قبل أن يكون تشريح الجثث لغرض علمي أمرًا مقبولًا. فعل ذلك تحت دعوى المعرفة، التي لم تكن مزاولة يُعتز بها في ذلك الوقت. أراد أن يتعلم كيفية عمل الجسم الإنساني، لكن معاصريه وجدوا أفعاله هذه شاذة ووقحة. في الوقت الحالي لنا وجهة نظر مختلفة، نجد أن توسيع معرفتنا بهذه الآلة المدهشة هو أعظم ما يمكننا تأديته. نقطع الجثث طوال الوقت لتعلم المزيد حول كيفية عمل الأجساد الحية، ولتعليم الآخرين ما تعلمناه بالفعل.

ليس هناك فرق هنا عما أقترحه. باستثناء شيء واحد: أتكلم عن المخ، وليس الجسم. ولهذا تأثير أكثر شدة. تتحدد هويتنا بأمخاخنا أكثر منها بأجسادنا. وُنظر إلى جراحة المخ باعتبارها أكثر إتلافية من جراحة إصبع القدم. ومع ذلك فإن قيمة المعرفة المكتسبة من سبر أغوار المخ أكثر قيمة من أن يتم إهمالها. لذلك سوف نغفل أي تقزز باق أيًّا كان.

كما كنت أقول، نبدأ بتجميد مخ ميت. ليست هذه فكرة جديدة، حيث إن لدى د. إي. فولر توري E. Fuller Torrey، المسئول في المعهد القومي للصحة النفسية والرئيس الحالي لشعبة الصحة العقلية في مؤسسة أبحاث خاصة، ٤٤ حجرة تجميد مليئة بـ٢٢٦ مخ مجمد.[٢١] ويأمل توري ومساعدوه في أن يتفرسوا في أسباب انفصام الشخصية، لذلك فكل الأمخاخ لديه تعود إلى مرضى بانفصام الشخصية، والتي ربما لا تكون مثالية بالنسبة لأغراضنا.

نفحص طبقة مخ واحدة ــ شريحة واحدة رقيقة جدًّا ــ في وقت واحد. يجب أن يكون في استطاعتنا بواسطة جهاز مسح حساس مناسب في البعدين أن نرى كل خلية عصبية وكل وصلة موجودة في أي طبقة مشبك رقيق. وبعد أن يتم فحص الطبقة وتخزين البيانات المطلوبة، يمكن التخلص منها لكشف الشريحة التالية. ويمكن تخزين

هذه المعلومات وتجميعها في نموذج ضخم في الأبعاد الثلاثة لشبكة توصيلات المخ والطوبولوجيا العصبية.

ويكون من الأفضل لو أن الأمخاخ المجمدة لم تكن ميتة منذ وقت طويل قبل التجميد. سوف يكشف المخ الميت الكثير حول الأمخاخ الحية، لكن من الواضح أنه ليس المختبر المثالي. بعض من عدم الحياة هذا محتوم له أن يعكس نفسه في تلف بنيته العصبية. وقد لا تكون لدينا الرغبة في اعتماد تصميماتنا للآلات الذكية على أمخاخ ميتة. ومن المرجح أننا نستطيع استغلال الأشخاص الذين، وهم يواجهون الموت الوشيك، سيسمحون بمسح أمخاخهم بشكل مدمر قبل قليل من توقف مخهم عن العمل فهو أفضل من حدوث ذلك بعد قليل من هذا التوقف، وعلى مسئوليتهم. وحديثًا، سمح قاتل محكوم عليه بالإعدام بإجراء مسح على مخه وجسده ويمكنك الوصول إلى ١٠ مليار بايت عنه في الإنترنت على موقع مركز محاكاة الإنسان «مشروع الإنسان المرئي».[٢٢] بل هناك حتى زميلة أنثى ذات وضوح أعلى ٢٥ مليار بايت على الموقع أيضًا. ورغم أن مسح هذا الثنائي ليس بدقة التفاصيل التي يمكن تمييزها بما يكفي للسيناريو الذي نتصوره هنا، إلا أنه مثال لتبرع شخص بمخه للهندسة العكسية. بالطبع قد لا نرغب في اعتماد قوالبنا عن ذكاء الآلة على مخ لقاتل مُدان، بأية طريقة كانت.

الأكثر سهولة أن نتكلم عن الوسائل غير الاتلافية البازغة لمسح أمخاخنا. بدأت بالسيناريو الأكثر إتلافية السابق لأنه أسهل من الناحية التكنولوجية. لدينا في الواقع وسائل تؤدي إلى مسح إتلافي حاليًّا (رغم أنها ليست بعد في نطاق مسح المخ بكامله في فترة زمنية معقولة). بالنسبة للمسح غير الإتلافي ومرتفع السرعة الذي يعطي صورًا واضحة دقيقة التفاصيل والذي يتمثل في ماسحات التصوير بالرنين المغناطيسي MRI فإنه قادر بالفعل على عرض أجسام الخلايا (أجسام الخلايا العصبية) دون الإخلال بالنسيج الحي الذي يجري مسحه. وتم تطوير أجهزة تصوير بالرنين المغناطيسي أكثر قوة ستستطيع مسح ألياف عصب فردية قطرها عشرة ميكرون (جزء من مليون من المتر). وسوف تكون متاحة خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. وأخيرًا سيكون في استطاعتنا مسح الخلايا الصغيرة ما قبل المشبكية presynaptic vesicles وهي موقع تعلم الإنسان.

يمكننا حاليًّا التحديق داخل مخ شخص ما بماسحات التصوير بالرنين المغناطيسي، التي يزداد وضوح صورها مع كل جيل جديد من هذه التكنولوجيا. وهناك عدد من المنافسين التقنيين في إنجاز هذه المهمة، بما في ذلك التوصل إلى نطاق ترددي مناسب لوضوح الصورة (أي سرعة النقل)، وقلة الاهتزازات، والأمان. ولعدة أسباب فإن مسح

مخ شخص متوف حديثًا أكثر سهولة من مخ شخص لا يزال حيًّا. (الأكثر سهولة جعل شخص متوف يستمر ساكنًا، من جهة أولى). لكن المسح غير الإتلافي لمخ حي سوف يصبح في النهاية ممكنًا مع استمرار تطوير وضوح الصور والسرعة في التصوير بالرنين المغناطيسي وتقنيات المسح الأخرى.

هناك تقنية مسح جديدة يطلق عليها التصوير الضوئي، طورها البروفيسور أميرام جرينفالد Amiram Grinvald في معهد وايزمان في إسرائيل، قادرة على إعطاء وضوح في الصورة أعلى بكثير من التصوير بالرنين المغناطيسي. ومثلها مثل التصوير بالرنين المغناطيسي تقوم هذه التكنولوجيا على التفاعل بين النشاط الكهربائي في الخلايا العصبية والدورة الدموية في الشعيرات التي تغذي العصبونات. يستطيع جهاز جرينفالد تحليل سمات أصغر من خمسين ميكرونًا، ويمكنه العمل في الوقت الحقيقي، مما يتيح للعلماء رؤية تشغيل العصبونات الفردية. تأثر بشدة جرينفالد وباحثون في معهد ماكس بلانك الألماني بالتناسق الملحوظ في أنماط التشغيل العصبي عندما كان المخ منهمكًا في معالجة المعلومات البصرية.[٢٢] أحد الباحثين د. مارك هوبنر Mark Hubener، يعلق قائلًا «خرائطنا عن المخ النشيط على درجة من التنظيم حتى إنها تشبه خريطة طريق في مانهاتن، أكثر، مثلًا، من مدينة أوروبية في العصور الوسطى» واستطاع جرينفالد، وهوبنر، وزملاؤهما استخدام ماسح المخ هذا للتمييز بين مجموعات من الخلايا العصبية المسئولة عن إدراك العمق، والشكل واللون. ومع تفاعل هذه الخلايا بعضها مع بعض، يشبه النمط الناتج للتشغيل العصبي فسيفساء مترابطة بشكل مستفيض. ومن صور المسح استطاع الباحثون رؤية كيفية تغذية الخلايا العصبية بالمعلومات بين بعضها البعض. على سبيل المثال، لاحظوا أن خلايا الإدراك الحسي كانت منظمة على هيئة أعمدة متوازية، تتيح معلومات لخلايا رصد الشكل التي تمثل أنماطًا أكثر إبداعًا تشبه الدولاب. وحاليًّا تستطيع تقنية لمسح لجرينفالد أن تصور فقط شريحة رقيقة من المخ بالقرب من سطحه، لكن معهد وايزمان يقوم بتحسينات ستوسع من قدرته في الأبعاد الثلاثة. وتم أيضًا استخدام تقنية المسح لجرينفالد لتعزيز وضوح صورة المسح بالتصوير بالرنين المغناطيسي. ونتائج حديثة حول أن الضوء القريب من الأشعة تحت الحمراء يمكنه المرور من خلال الجمجمة تحفز أيضًا إثارة حول قدرة التصوير الضوئي كطريقة عالية الوضوح لمسح المخ.

القوة العاتية خلف التحسين السريع لقدرة تقنيات المسح غير الإتلافية مثل التصوير بالرنين المغناطيسي هي مرة أخرى قانون العائدات المتسارعة، لأنها تتطلب قدرة حوسبة

ضخمة للحصول على وضوح الصورة العالي، وصور الأبعاد الثلاثة من أنماط رنين مغناطيسي أولي ناتجة عن ماسحة التصوير بالرنين المغناطيسي. وسوف تتيح لنا القدرة المتزايدة أسيًّا للحوسبة الناتجة عن قانون العائدات المتسارعة (ولخمسة عشر أو عشرين عامًا أخرى من قانون مور) الاستمرار في التحسين السريع لوضوح الصورة والسرعة لتقنيات المسح غير الاتلافية هذه.

عمل خرائط للمخ البشري مشبك بمشبك قد يبدو كأنه مجهود مروع، لكن هكذا كان أمر مشروع الجينوم البشري، مجهود لعمل خرائط لكل الجينات البشرية، عندما بدأ في ١٩٩١. ورغم أن الكمية الكبيرة من الشفرة الوراثية للإنسان لا تزال غير مشفرة، هناك ثقة في مراكز تحديد تتالي الجينوم التسعة الأمريكية في أن المهمة سوف تكتمل، إذا لم يكن في عام ٢٠٠٥، فعلى الأقل بعد بضعة أعوام من الموعد المحدد. وحديثًا، أعلن مشروع خاص جريء جديد ممول من بركين إلمر Perkin-Elmer خططًا لترتيب تسلسل مجمع الجينوم البشري مع عام ٢٠٠١. وكما ذكرت سابقًا، فإن سرعة مسح الجينوم البشري كانت بطيئة إلى حد بعيد في سنواته الأولى، وتحفزت سرعتها بالتقنيات المتطورة، خاصة برامج الكمبيوتر التي تحدد المعلومات الجينية المفيدة. ويعتمد الباحثون على المزيد من التحسينات في برامج كمبيوتراتهم لمطاردة الجين للوفاء بموعدهم النهائي. ونفس الأمر سيكون صحيحًا بالنسبة لمشروع وضع خرائط للمخ البشري، حيث إن طرقنا لمسح وتسجيل ١٠٠ تريليون وصلة عصبية سوف تتحفز سرعتها بقانون العائدات المتسارعة.

## ما يجب صنعه بالمعلومات

هناك سيناريوهان لاستخدام نتائج صور مسح المخ التفصيلية. الأقرب — مسح المخ لفهمه — هو مسح مناطق من المخ لتحديد أسلوب البناء والخوارزميات الضمنية للوصلات ما بين العصبونات في المناطق المختلفة. ليس الموضع المضبوط لكل ليف عصبي بأهمية النمط الشامل. بهذه المعلومات يمكننا تصميم شبكات عصبية بالمحاكاة تعمل بشكل مشابه. وستكون العملية على الأصح شبيهة بتقشير بصلة كلما تم كشف كل طبقة من الذكاء الإنساني.

ذلك من الناحية الأساسية هو ما فعلته المشابك في شريحتها Synaptics التي تحاكي معالجة الصورة العصبية لدى الثدييات. وهو أيضًا ما يخطط لفعله جرينفالد وهوبنر وزملاؤهما بصور مسح لحاء الدماغ التي حصلوا عليها. وهناك العشرات من المشروعات

الأخرى المعاصرة المصممة لمسح مناطق من المخ ولتطبيق الاستبصارات الناتجة لتصميم نظم ذكية.

داخل منطقة ما، تكون دوائر المخ تكرارية إلى حد بعيد، لذلك فإن جزءًا صغيرًا فقط من المنطقة يحتاج إلى مسحه كاملًا. والحوسبة ذات العلاقة بنشاط العصبون أو مجموعة عصبونات تكون واضحة بما يكفي بحيث نفهم ونضع نماذج لهذه الطرق بفحصها. وبمجرد اكتمال رصد وتسجيل وتحليل بنية وطوبولوجيا العصبونات، وتنظيم التوصيلات بين العصبونات، وتتالي التشغيل العصبوني في منطقة ما، يصبح من الممكن إجراء الهندسة العكسية على الخوارزميات المتوازية في هذه المنطقة. وبعد فهم خوارزميات منطقة ما يمكن تحسينها وتوسعتها قبل تنفيذها في مكافئاتها العصبية الاصطناعية. ويمكن بالتأكيد زيادة سرعة هذه الطرق إلى حد بعيد إذا عرفنا أن الإلكترونات أسرع كثيرًا بالفعل مليون مرة من الدوائر العصبية.

يمكننا الجمع بين الخوارزميات المكتشفة وطرق إنشاء الآلات الذكية التي فهمناها بالفعل. ويمكننا أيضًا نبذ جوانب الحوسبة الإنسانية التي قد لا تكون مفيدة في الآلة. وبالطبع، يجب علينا الحذر من أننا لا نتخلص من الأشياء الجيدة مع الأشياء غير الصالحة.

## تحميل مخك على كمبيوترك الشخصي

سيكون السيناريو الأكثر تحديًا لكنه في النهاية قابل للتنفيذ هو مسح مخ شخص ما لرسم خريطة المواقع، وما بين الوصلات، ومحتويات أجسام الخلايا somas، ومحاور الألياف العصبية axons، والزوائد الشجرية في الخلايا العصبية dendrites، والخلايا الصغيرة ما قبل المشبكية presynaptic vesicles، والمكونات العصبية الأخرى. ويمكن عندئذ إعادة تخليق كل تنظيم المخ على كمبيوتر عصبي ذو قدرة كافية، بما في ذلك محتويات ذاكرته.

هذا أصعب بشكل واضح من سيناريو مسح المخ لفهمه. في الحالة الأولى، نحتاج فقط إلى عينة من كل منطقة حتى نفهم الخوارزميات البارزة. يمكننا عندئذ تجميع هذه الأفكار مع المعرفة التي لدينا بالفعل. وفي هذا السيناريو — مسح المخ لتحميله — نحتاج إلى الحصول على كل تفصيلة صغيرة. ومن جانب آخر، لسنا في حاجة إلى فهم كل المخ، نحن فقط نحتاج إلى نسخه حرفيًا، وصلة بوصلة ومشبك بمشبك، ناقل عصبي بناقل عصبي. ويتطلب منا ذلك فهم عمليات المخ المحلية، وليس

بالضرورة التنظيم الشامل للمخ، على الأقل ليس المخ بكامله. ومن المرجح أنه بمرور الزمن يمكننا فعل ذلك، وسنفهم الكثير منه، على أي حال.

لفعل ذلك بالشكل الصحيح، نحتاج إلى فهم ماهية الآليات البارزة لمعالجة المعلومات. ومعظم البنية العصبية المستفيضة توجد لدعم سلامة وحياة عمليات الحياة ولا تساهم بشكل مباشر في معالجته للمعلومات. ونعرف أن عمليات معالجة الحوسبة العصبية تقوم على مئات من الناقلات العصبية وأن معظم الآليات العصبية في المناطق المختلف تسمح بأنواع مختلفة من الحوسبة. وتعتبر عصبونات البصر المبكرة، على سبيل المثال، جيدة في إبراز التغيرات المفاجئة في اللون لتسهيل التعرف على حواف الأشياء. ومن المرجح أن لعصبونات قرن آمون تكوينات لتعزيز الاحتفاظ بالذكريات على المدى الطويل. ونعرف أيضًا أن العصبونات تستخدم مجموعة من الحوسبة الرقمية والقياسية التي تحتاج إلى نمذجتها بشكل دقيق. نحتاج إلى تحديد بنى قادرة على الحوسبة الكمية، إذا كان هذا ممكنًا. وكل السمات المهمة التي تؤثر على معالجة المعلومات تحتاج إلى التعرف عليها إذا كان علينا أن ننسخها بشكل دقيق.

ما مدى جودة هذا العمل؟ بالطبع، مثل أي تقنية جديدة، لا تكون مثالية في البداية، وستكون التحميلات الأولى مثيرة للإعجاب إلى درجة ما. ولن تكون العيوب الصغيرة ملحوظة على الفور بالضرورة لأن الناس يتغيرون دائمًا بدرجة ما. وحيث إن فهمنا لآليات المخ وقدرتنا على المسح الدقيق وغير الاتلافي لهذه السمات المحسنة يتحسن، فإن إعادة تركيب مخ شخص سيغير من مخ الشخص بشكل ليس أكثر من تغيره من يوم إلى آخر.

## ما الذي سنجده عندما نفعل ذلك؟

يجب أن نفكر مليًّا في هذا السؤال على المستويين الموضوعي والذاتي. «الموضوعي» يعني أي شخص باستثنائي، إذن دعنا نبدأ بذلك. موضوعيًّا، عندما نمسح مخ شخص ما ونركب ملف عقله الشخصي في وسيط حوسبي مناسب، سيبدو «الشخص» الناشيء الجديد للمراقبين الآخرين كما لو أن لديه إلى حد بعيد نفس الشخصية، والتاريخ، والذاكرة مثل الشخص الأصلي الذي تم مسحه. والتفاعل مع الشخص المركب الجديد سيبدو مثل تفاعل مع الشخص الأصلي. وسوف يدَّعي الشخص الجديد أنه نفس الشخص القديم وسيكون لديه الذاكرة التي تكشف أنه نفس الشخص، الذي شب في بروكلين، وظهر ككائن خارق في ماسحة هنا، وتنبه في آلة هناك. وسيقول «أمر عجيب. إن هذه التكنولوجيا تعمل بالفعل.»

وهناك الأمر البسيط الخاص بجسم «الشخص الجديد.» ما نوع الجسم الذي سيكون لملف المخ الشخصي الذي تم تركيبه: جسم الإنسان الأصلي، أم جسم تم تحسينه، أم جسم اصطناعي، أم جسم تم تركيبه بالهندسة النانوية، أم جسم افتراضي في بيئة افتراضية؟ هذا سؤال مهم، وهو ما سوف أناقشه في الفصل اللاحق.

ذاتيًّا، السؤال أكثر إبهامًا وعمقًا. هل هذا هو دون شك نفس وعي الشخص الذي تم مسحه؟ كما عرفنا في الفصل ٣، هناك حجج قوية لدى كلا الجانبين. موقف أننا من الناحية الأساسية «نمطنا» (لأن جسيماتنا تتغير باستمرار) قد يتقدم بحجج أن هذا الشخص الجديد هو نفسه لأن أنماطهما متطابقة جوهريًّا. والحجة المضادة، مع ذلك، هي احتمال الوجود المتصل للشخص الذي تم مسحه في الأصل. إذا كان — جاك — لا يزال هنا وهناك، سوف يدعي بصورة قاطعة أنه يمثل استمرارية وعيه. وقد لا يرضى بترك مستنسخه العقلي يواصل احتلال مكانه. سوف نواصل الاصطدام بهذه القضية ونحن نستكشف القرن الحادي والعشرين.

لكن بنظرة فاحصة سريعة للحد الفاصل، سيعتقد الشخص الجديد بالتأكيد بأنه كان الشخص الأصلي. لن تكون هناك ازدواجية في عقله حول ما إذا كان أو لم يكن قد اقترف الانتحار عندما وافق على نقله إلى ركيزة حوسبة جديدة تاركًا تجهيزاته البطيئة للحوسبة العصبية المعتمدة على الكربون خلفه. وبقدر دهشته مهما كان الأمر بما إذا كان أو لم يكن حقًّا نفس الشخص الذي كان يعتقد أنه هو، سيبتهج بأن نفسه القديمة قامت بمغامرة غير مألوفة، لأنه بدون ذلك لم يكن ليوجد.

هل هو — المخ المركب حديثًا — واع؟ سوف يدَّعي ذلك بالتأكيد. ولكونه أكثر قدرة بكثير من نفسه العصبية القديمة، سيكون مقنعًا ومؤثرًا في مركزه هذا. وسوف نصدقه. وسيصاب بالجنون لو لم نفعل ذلك.

## نزعة متنامية

في النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين، ستكون هناك نزعة متنامية تجاه إجراء هذه الوثبة. في البداية سيكون هناك تحميل جزيئي — استبدال دوائر الذاكرة المتقدمة في العمر، وتوسيع دوائر نمط التعرف والتفكير المنطقي من خلال زراعات عصبية. وأخيرًا، وقبل نهاية القرن الحادي والعشرين بكثير، سوف يحمِّل الناس ملف عقلهم بكامله بالتكنولوجيا الجديدة للتفكير.

سيكون هناك حنين لجذورنا المتواضعة المعتمدة على الكربون، لكن هناك حنين أيضًا لتسجيلات الفينيل vinyl. وأخيرًا سنكون قد نسخنا كل الموسيقى القياسية إلى كل العالم المرن والقدير للمعلومات الرقمية القابلة للنقل. وسوف تحدث قفزة تحميل عقولنا إلى وسيط حوسبة أكثر قدرة، بالتدريج لكنها مع ذلك ستحدث لا محالة.

ومع تحميل أنفسنا، سوف نوسع أنفسنا أيضًا بدرجة كبيرة. تذكر أن حوسبة بـ ١٠٠٠ دولار في ٢٠٦٠ سوف تكون لها القدرة الحسابية التي تصل إلى تريليون مخ بشري. لذلك قد نضاعف أيضًا الذاكرة بتريليون مرة، مما يوسع إلى حد بعيد من قدرات التعرف والتفكير المنطقي، ونصل أنفسنا بشبكة اتصالات لاسلكية نافذة. وعندما نكون فيها، يمكننا إضافة كل المعرفة الإنسانية ـــ كقاعدة بيانات يمكن الوصول إليها في الإنترنت بالفعل وكمعرفة تمت معالجتها وتعلمها بالفعل باستخدام نوع الفهم الإنساني الموزع.

**لقد بدأ بالفعل عصر الزراعات العصبية**

يتحرك المرضى بحمالات على عجلات. وهم يعانون من مرحلة متقدمة من مرض باركنسون، يشبهون التماثيل، وعضلاتهم مجمدة، وأجسامهم ووجوههم جامدة تمامًا. ثم في عرض مثير في عيادة فرنسية، يحرك الطبيب المشرف مفتاحًا كهربائيًا. وفجأة تدب الحياة في المرضى، يقومون ويسيرون هنا وهناك، ويصفون في هدوء وبطريقة معبرة كيف يتغلبون على أعراضهم المسببة للوهن. تلك النتيجة المثيرة لعلاج زرع عصبي جديد حصل على إجازة في أوروبا، ولا يزال في انتظار إجازته من منظمة الغذاء والدواء FDA في الولايات المتحدة.

تسبب المستويات الضعيفة لدوبامين الناقل العصبي لدى مريض باركنسون التنشيط المفرط لمنطقتين بالغتي الصغر في المخ: النواة العصبية البطنية الخلفية ventral poterior nucleus والنواة العصبية ما تحت المهاد subthalamic nucleus. ويسبب فرط النشاط هذا بدوره بطء وتصلب وصعوبات في المشي في هذا المرض، وفي النهاية يحدث شلل كلي ووفاة. اكتشف الدكتور أيه. إل. بينيبيد A. L. Benebid، الطبيب الفرنسي في جامعة فورييه في جرينوبل، أن تحفيز هذه المناطق بزراعة إلكترود دائم يكبح في تناقض ظاهري

هذه المناطق مفرطة النشاط ويعكس الأعراض. والإلكترود متصل بأسلاك إلى وحدة تحكم كهربائية موضوعة في صدر المريض. من خلال إشارات لاسلكية يمكن برمجة الوحدة، أو حتى إيقاف عملها أو تشغيلها. وعندما يتم إغلاقها، تعود الأعراض على الفور. ويَعد العلاج بالتحكم في أغلب أعراض المرض المدمرة.[٢٤]

تم استخدام مقاربات مماثلة في مناطق أخرى من المخ. وعلى سبيل المثال، بزرع إلكترود في المهاد الخارجي ventral lateral thalamus، يمكن وضع نهاية للتشنجات المصاحبة للشلل المخي، ومرض التصلب العصبي المتعدد multiple sclerosis، والإصابات الأخرى المسببة للتشنجات.

«تعودنا علاج المخ كحساء، بإضافة مواد كيميائية لتعزيز أو لكبح ناقلات عصبية معينة»، يقول ريك تروش Rick Trosch، أحد الأطباء الأمريكيين المساعدين في مجال علاجات «التحفيز العميق للمخ» البارعة. «والآن نعالجه باعتباره دوائر كهربائية».[٢٥]

وبشكل متزايد، بدأنا في التصدي للمصائب الإدراكية والحسية بمعالجة المخ والجهاز العصبي باعتبارهما نظامي حوسبة معقد، وهما هكذا بالفعل. زراعات حلزون الأذن الباطنة مع معالجات الكلام الإلكترونية تقوم بتحليل ذبذبات موجات الصوت بما يماثل ما تقوم به الإذن الداخلية. ونحو ١٠ بالمائة من الأشخاص الذين كانوا مصابين سابقًا بالصمم والذين تلقوا جهاز الإحلال العصبي هذا يمكنهم متابعة الأحاديث باستخدام هاتف عادي.

قام د. جوزيف ريزو Joseph Rizzo طبيب الأمراض العصبية وطبيب العيون في كلية طب هارفارد وزملاؤه بتطوير زراعة شبكية تجريبية. والزراعة العصبية لريزو هي كمبيوتر صغير يعمل بأشعة الشمس ويتصل بعصب بصري. ويضع المستخدمون نظارات خاصة بكاميرات تلفزيون بالغة الصغر تتصل بالكمبيوتر المزروع بإشارة ليزر.[٢٦]

ولقد طور باحثون من معهد ماكس بلانك الألماني للكيمياء الحيوية أجهزة سليكون خاصة يمكنها الاتصال بالعصبونات في كل الاتجاهات. وليس التحفيز المباشر للعصبونات بتيار كهربائي هو المقاربة المثالية حيث إنه قد يسبب تآكل للإلكترودات وينتج عنه تأثير جانبي كيميائي يتلف الخلايا. وبالعكس، فإن

أجهزة معهد ماكس بلانك قادرة على قدح عصبون مجاور لكي يعمل بدون وصلة كهربائية مباشرة. ويثبت علماء المعهد قدرة اختراعهم على التحكم في حركات ديدان علق من كمبيوتر هم.

بالعمل في الاتجاه العكسي ـــ من العصبونات إلى الإلكترونيات ـــ هناك جهاز يطلق عليه «ترانزستور عصبي»،[٢٧] يمكنه تسجيل تشغيل العصبون. ويأمل العلماء في تطبيق كلا التقنيتين على التحكم في أطراف إنسان اصطناعي بتوصيل أعصاب شوكية spinal nerves بأعضاء صناعية تعمل بالحوسبة. يقول بيتر فرومهيرز Peter Fromherz من المعهد، «هذان الجهازان ينضمان إلى عالمي معالجة المعلومات: عالم السليكون للكمبيوتر والعالم المائي للمخ.»

قام عالم البيولوجيا العصبية تيد برجر Ted Berger وزملاؤه من علوم الأعصاب والهندسة في هيدكو Hedco بإنشاء دوائر متكاملة تناسب بدقة خواص ومعالجة المعلومات لمجموعات عصبونات حيوانية. تحاكي الشريحة بالضبط الصفات الرقمية والقياسية للعصبونات التي قاموا بتحليلها. وهم الآن يعدلون من تقنيتهم لتناسب نظمًا فيها مئات من العصبونات.[٢٨] وابتكر البروفيسور كارفر ميد Carver Mead وزملاؤه أيضًا في معهد التكنولوجيا في كاليفورنيا دوائر متكاملة رقمية قياسية تناسب معالجة دوائر عصبية للثدييات تتألف من مئات العصبونات.[٢٩]

عصر الزراعات العصبية مستمر، بالرغم من أنه في مرحلته المبكرة. وفي البداية يركز التحفيز المباشر لمعالجة المعلومات في مخ هجين بدوائر اصطناعية على تصحيح عيوب السطوع glaring defects المؤلم الناتجة عن أمراض وحالات العجز العصبية والحسية. وأخيرًا سنجد فوائد في التوسع في قدراتنا من خلال الزراعات العصبية التي يصعب مقاومتها.

## القابلية للفناء الجديدة

بالفعل لن تكون هناك قابلية للفناء مع نهاية القرن الثاني والعشرين. ليس بالمعنى الذي عرفناه. وليس إذا اغتنمتَ تقنية تحميل المخ في القرن الثاني والعشرين. وحتى الآن، كانت الوفيات مرتبطة بطول عمر كياننا المادي. وعندما يتحطم الكيان المادي، تلك

كانت المشكلة. بالنسبة للكثير من الأسلاف، يتلف الكيان المادي بالتدريج قبل أن يتحلل. يأسى ييتس Yeats لاعتمادنا على نفسنا الجسمانية التي «لم تكن سوى شيء تافه، سترة بالية على عصا».[٣٠] عندما نعبر الحد الفاصل لتركيب أنفسنا في تقنية الحوسبة لدينا، ستقوم هويتنا على ملف عقلنا المتطور. سوف نصبح برمجيات software وليس عتادًا hardware.

وسوف تتطور. والآن، لا يمكن لبرمجياتنا أن تنمو. إنها ملتصقة بالمخ بمجرد ١٠٠ تريليون وصلة ومشبك. لكن عندما يكون عتادنا أكثر قدرة بتريليونات المرات، لن يكون هناك سبب لأن تظل عقولنا بهذا الصغر. يمكنها أن تنمو وستنمو.

وباعتبارنا برمجيات، لن تعتمد الوفيات لدينا بعد ذلك على بقاء دوائر الحوسبة. سيظل هناك عتاد وأجساد، لكن جوهر هويتنا سيتحول إلى بقاء برمجياتنا. بالضبط كما يحدث، في الوقت الراهن، أننا لا نرمي ملفاتنا بعيدًا عندما نغير الكمبيوترات الشخصية — ننقلها، على الأقل تلك التي نريد أن نحتفظ بها. لذلك فإننا أيضًا لن نرمي ملف عقلنا بعيدًا عندما نحمِّل أنفسنا بصورة دورية على أحدث كمبيوتر «شخصي» أكثر قدرة من أي وقت مضى. وبالطبع لن تكون الكمبيوترات هي هذه الأشياء المتميزة في الوقت الحالي. ستكون مطمورة بعمق في أجسامنا، وأمخاخنا، وفي بيئتنا. وفي النهاية ستصبح هويتنا وبقاؤنا مستقلين عن العتاد وبقائه.

سوف تكون قابليتنا للفناء أمر يتعلق بمدى حرصنا على أن نجري عملية نسخ احتياطية متكررة في فترات قصيرة. إذا لم نحرص على ذلك، علينا أن نحمّل نسخة احتياطية قديمة ونحكم على أنفسنا بتكرار ماضينا الحديث.

---

**دعنا نقفز إلى الجانب الآخر من القرن المقبل. قلت إنه في ٢٠٩٩ سيساوي بنس الحوسبة قوة الحوسبة لكل أمخاخ البشر مجتمعة مليار مرة. يبدو ذلك كما لو أن التفكير البشري سيصبح قليل الأهمية إلى حد ما.**

إذا لم يتلق مساعدة، هذا حقيقي.

**إذن كيف سندبر نحن الكائنات البشرية أمرنا وسط هذا التنافس؟**

أولًا علينا أن ندرك أنه كلما زادت قوة التكنولوجيا — الحضارة التكنولوجية بالغة التعقيد — فإنها تربح باستمرار. يبدو ذلك كما لو أنه ما حدث عندما قابل فرع جنسنا الإنسان المعاصر العاقل الإنسان العاقل النياندرتالي والأنواع الفرعية الأخرى

من الإنسان العاقل التي لم تستمر في الحياة. هذا ما حدث عندما واجه الأوروبيون الأكثر تطورًا من الناحية التكنولوجية الشعوب الأصلية في الأمريكتين. وهذا يحدث في الوقت الراهن حيث التكنولوجيا الأكثر تطورًا هي العامل المؤثر الحاسم للقوة الاقتصادية والعسكرية.

**إذن هل سنصبح عبيدًا لهذه الآلات الذكية؟**

العبودية ليست نظامًا اقتصاديًا مثمرًا لكلا الجانبين في عصر القدرة على الفهم والتعلم والتفكير. قد لا تبدو لنا قيمة لو كنا عبيدًا للآلات. وعلى الأصح، تنطلق العلاقة في الاتجاه الآخر.

**بالفعل يفعل كمبيوتري الشخصي ما أطلبه منه ــ ربما عليّ أحيانًا أن أكون أكثر رقة معه.**

لا، إنه لا يهتم بكيفية تعاملكِ معه، ليس بعد. لكن أخيرًا لن تناسب قدراتنا الفطرية تفكير التكنولوجيا الشاملة تمامًا التي نبتكرها.

**ربما علينا أن نتوقف عن ابتكارها.**

لا يمكننا أن نتوقف. يمنع قانون العائدات المتسارعة ذلك! إنها الطريقة الوحيدة للمحافظة على التطور منطلقًا بخطوات متسارعة.

**هذا أمر غريب، اهدأ قليلًا. سيكون من الرائع بالنسبة لي لو أن التطور تباطأ قليلًا. منذ متى ونحن نتبع قانونك عن التسارع باعتباره قانون العالم؟**

ليس علينا أن نفعل ذلك. إيقاف تقنية الكمبيوتر، أو أي تقنية مثمرة، قد يعني إلغاء الحقائق الرئيسية عن التنافس الاقتصادي، ولا داعي لذكر بحثنا عن المعرفة. لن يحدث ذلك. بالإضافة إلى أن الطريق الذي وصلنا إليه هو طريق مفروش بالذهب. إنه مليء بالفوائد التي لن نقاومها أبدًا ــ النمو الدائم هو ازدهار اقتصادي، وصحة أفضل، ومزيد من كثافة الاتصال، وتعليم أكثر كفاءة، ومزيد من الارتباط بالترفيه، وجنس أفضل.

**حتى يتولى الكمبيوتر الأمر.**

انتبهي، ليس هذا غزوًا من كائنات الفضاء. رغم أنه يبدو مثيرًا للانزعاج، فإن قدوم الآلات بذكاء هائل ليس بالضرورة أمرًا سيئًا.

**أَفترض أننا إذا لم نستطع هزيمتها، سيكون علينا أن ننضم إليها.**

هذا بالضبط ما سوف نفعله. بدأت الكمبيوترات باعتبارها امتدادًا لعقولنا، وسوف ينتهي بها الأمر بأن توسع عقولنا. الآلات بالفعل جزء متمم لحضارتنا، وفوق ذلك ستكون الآلات الحسية والروحية للقرن الحادي والعشرين جزءًا أكثر حميمية في حضارتنا.

**حسنًا، بالنسبة لتوسيع عقلي، دعنا نعد إلى الزراعات من أجل حصتي الدراسية حول الأدب الفرنسي. هل سيشبه ذلك أن أقرأ هذه المادة؟ أم أنه سيشبه فقط كمبيوتر شخصي ذلك الذي يمكنني الاتصال به بسرعة لأنه حدث أنه أصبح في رأسي؟**

هذا سؤال مهم، وأعتقد أنه سيكون مثيرًا للجدل. إنه يعود إلى قضية الوعي. سيشعر بعض الناس بأن ما يحدث في زراعاتهم العصبية تم تصنيفه بالفعل بواسطة وعيهم. وسيشعر آخرون بأنه يظل خارج الشعور بالنفس. أظن أننا سننظر إلى النشاط العقلي للزراعات باعتباره جزءًا من تفكيرنا الخاص. فكري مليًا في أنه حتى بدون زراعات، فإن الانطباعات والأفكار تتفجر باستمرار في رؤوسنا، ولدينا فكرة ضئيلة عن المكان الذي انطلقت منه، أو عن كيفية وصولها إلينا. نحن نعتبر مع ذلك أن كل الظاهرة العقلية لدينا هي التي أصبحنا ندركها باعتبارها أفكارنا الخاصة.

**إذن هل سيكون في استطاعتي أن أحمِّل ذكريات التجارب التي لم أمر بها قط؟**

نعم، لكن شخصًا ما ربما مر بهذه التجربة. فلماذا لا تكون لديكِ القدرة على مشاركته إياها؟

**أَفترض بالنسبة لبعض التجارب، أنه قد يكون أكثر أمنًا مجرد تحميل ذكريات عنها.**

استهلاك أقل للوقت أيضًا.

**هل تعتقد بالفعل أن مسح مخ مجمد أمر ممكن في الوقت الراهن؟**

بالتأكيد، فقط ثبتي رأسك في جهاز التجميد لديّ هنا.

**يا للعجب، هل أنت متأكد أن هذا آمن؟**

تمامًا.

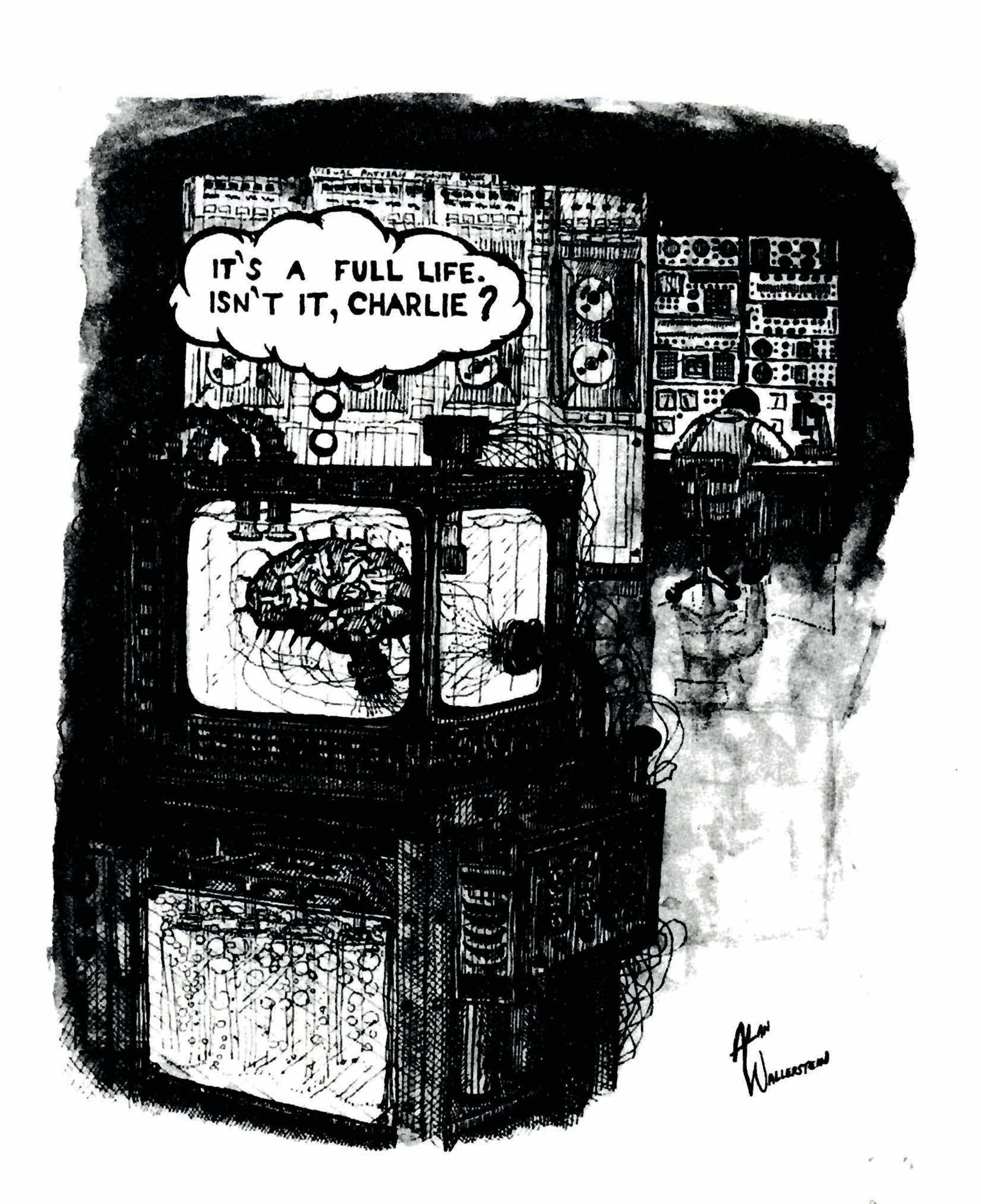
**حسنًا، أعتقد أن عليّ أن أنتظر موافقة من منظمة الغذاء والدواء FDA.**

حسنًا، سيكون عليكِ الانتظار وقتًا طويلًا.

**فكر للمستقبل، لا أزال أشعر بأننا قد قضي علينا. أعنى، يمكنني أن أفهم كيف لمخ شخصية مركّب حديثًا، كما أوضحت، أن تكون سعيدة بأنه تم ابتكارها وسوف تظن أنها كانت أنا قبل أن يتم مسحي ولا تزال هي أنا على هيئة مخ جديد لامع. لن**

**يكون لديها أي ندم وستكون على «الجانب الآخر.» لكن لا أعرف كيف سأستطيع عبور الخط الفاصل بين الإنسان والآلة. وكما أوضحت، لو تم مسحي، لن يكون أنا الجديدة هذه هي أنا لأنني ما زلت هنا في مخي القديم.**

نعم، هناك القليل من الخلل في هذه النظرة. لكنني متأكد من أننا سوف نفكر في كيفية حل هذه المشكلة الشائكة بمزيد من الاهتمام.


IT'S A FULL LIFE.
ISN'T IT, CHARLIE ?
ALAN WALLERSTEIN

الفصل السابع

# ... وأجسام

## أهمية تملك جسم

دعينا نبدأ بإلقاء نظرة سريعة على يوميات القارئة لديّ.

**الآن انتظر لحظة فقط.**

هل هناك مشكلة؟

**أولًا، لديّ اسم.**

نعم، لعلها فكرة جيدة تقديم نفسك بالاسم الآن.

**أنا مولي.**

شكرًا، هل هناك شيء آخر؟

**نعم. لست متأكدة من أني مستعدة لمشاركة قرائك الآخرين في يومياتي.**

أغلب الكتاب لا يدعون قراءهم يشاركون بأية درجة. وعلى أي حال، أنت من مبتكراتي، لذلك يجب أن أكون قادرًا على مشاركتكِ في أفكاركِ الشخصية إذا كانت تخدم غرضًا هنا.

**قد أكون من ابتكارك، لكن تذكر ما قلته في الفصل ٢ حول تطور ابتكارات شخص ما لتتفوق على مبتكريها.**

هذا حقيقي تمامًا، لذلك قد يكون عليَّ أن أكون أكثر حساسية تجاه احتياجاتِك.

**فكرة جيدة — دعنا نبدأ بالسماح لي بعرض هذه المداخل التي تختارها.**

ممتاز. ها هي بعض المقتطفات من يوميات مولي، تم تنقيحها بطريقة مناسبة:

انتقلت إلى فطائر منزوعة الدسم. لها فائدتين مميزتين. أول شيء، تحتوي على نصف عدد السعرات الحرارية. ثانيًا، طعمها فظيع. لذلك ليس هناك ما يغريني بأكلها. لكنني أتمنى أن يتوقف الناس عن دفع الطعام أمام وجهي بعنف ... سأصاب بالإزعاج بسبب وجبة حفلة المهجع غدًا تلك التي يشارك الجميع فيها بإحضار الطعام. أشعر بأن عليَّ أن أجرب كل شيء، وحدث لي انقطاع عن تسلسل ما أتناوله من طعام.

شرعت في إسدال مقدار نصف الثوب على الأقل. الحجم الطبيعي سيكون أفضل. عندئذ استطعت التنفس بسهولة أكبر في هذا الثوب الجديد. ينبهني ذلك بأن عليّ أن أتوقف عند نادي الصحة وأنا في طريقي إلى البيت. قد ينتبه إليَّ هذا المدرب الجديد. بالفعل ضبطته وهو ينظر إليّ، لكنني كنت أصاب بالتشنج إلى حد ما تجاه هذه الآلات الجديدة، وهو نظر إلى الناحية الأخرى ... لست منشغلة بشدة بالمناطق المجاورة لهذا المكان، ولا أشعر حقًّا بالأمن بالسير عائدة إلى سيارتي عندما يكون الوقت متأخرًا. حسنًا، ها هي فكرة ــ سوف أطلب من هذا المدرب ــ أحاول معرفة اسمه ــ أن يصحبني في طريقي إلى سيارتي. دائمًا هناك فكرة ما تجعلك آمنًا، أليس كذلك؟

... أنا عصبية إلى حد ما بسبب هذه النتوءات في إصبع قدمي. لكن الطبيب قال إن نتوءات أصبع القدم تكون دائمًا حميدة تقريبًا. لكنه لا يزال يطلب إزالتها وإرسالها إلى المختبر. قال إنني لن أشعر بأي شيء. باستثناء، بالطبع، المخدر الموضعي نوفوكين novocaine ــ أكره الأشياء غير الضرورية!

...كان من الغريب إلى حد ما رؤية حبيبي، لكنني سعيدة لأننا لا نزال أصدقاء. كم شعرت بأنه أمر جذاب عندما احتضنني ...

شكرًا، مولي. والآن انظر مليًّا إلى: كيف يمكن للكثير من المداخل مثل مولي أن يكون لها معنى إذا لم يكن لها جسم؟ أغلب نشاطات مولي العقلية يتم توجيهها إلى جسمها وبقاءه، وأمنه، وتغذيته، وصورته، وليس إلى ذكر الموضوعات المرتبطة بالعاطفة، والجنس والتكاثر. لكن مولي ليست فريدة من وجهة النظر هذه. أدعو قرائي الآخرين للنظر في يومياتهم. وإذا لم يكن لديك واحدة، خذ في اعتبارك ما قد تكتبه فيها إذا فعلت ذلك. ما عدد مداخلك التي قد يكون لها معنى إذا لم يكن لديك جسم؟

أجسامنا مهمة من جوانب كثيرة. معظم هذه الأهداف التي تحدثت عنها في بداية الفصل السابق — ما نحاول حلها باستخدام ذكائنا — لها علاقة بأجسامنا: حمايتها، إمدادها بالوقود، جعلها جذابة، جعلها تشعر بأنها في حالة جيدة، إمدادها باحتياجاتها التي لا تعد ولا تحصى، ولم نذكر الرغبات.

يجزم بعض الفلاسفة — والناقد الخبير في مجال الذكاء الاصطناعي هوبرت درايفوس Hubert Dreyfus واحد منهم — أن الوصول إلى المستوى الإنساني في الذكاء مستحيل دون جسم.[1] بالتأكيد، إذا كنا سنحمِّل عقل بشري على وسيط حوسبة جديد، سيكون من الأفضل أن نمده بجسم. سيصبح العقل المجرد من الجسم مكتئبًا بسرعة.

---

## أجسام القرن الأول والعشرين

> ما الذي يصنع روحًا؟ وإذا كانت الآلات لديها روح بأية طريقة، ما الذي سيكون مكافئًا للعقاقير ذات التأثير العقلي؟ وللألم؟ وللمستوى الجسدي العاطفي العالي الذي أحصل عليه عندما يكون لديَّ مكتب نظيف؟
>
> إيشر ديسون Esther Dyson

> يا له من آلة عجيبة هذا الإنسان. تملؤه بالطعام، والنبيذ، والأسماك، ونباتات الفجل، ثم تحصل على التنهدات، والضحك والأحلام.
>
> نيكوس كازانتزاكيس Nikos Kazantzakis

إذن ما هو نوع الأجسام الذي سنمد به آلاتنا في القرن الحادي والعشرين؟ فيما بعد سيصبح السؤال: ما نوع الأجسام التي سيمدون أنفسهم بها؟

دعنا نبدأ بالجسم الإنساني. إنه الجسم الذي تعودنا عليه. لقد تطور مع مخه، لذلك فإن المخ البشري مناسب تمامًا لإمداده باحتياجاته. المخ البشري والجسم يناسب كل منهما الآخر.

السيناريو المرجح أن كلًّا من الجسم والمخ سيتطوران معًا، سيتم تعزيزهما معًا، سيهاجران معًا نحو كيفيات ومواد جديدة. وكما ذكرت في الفصل السابق، فإن تحميل أمخاخنا على آليات حوسبة جديدة لن يحدث دفعة واحدة. سوف نعزز أمخاخنا بالتدريج من خلال اتصال مباشر بذكاء الآلة حتى يأتي وقت يكون جوهر تفكيرنا قد هاجر

بالكامل إلى المعدات الآلية الجديدة الأكثر قدرة وقابلية للاعتماد عليها بكثير. ومرة أخرى، إذا وجدنا هذا التصور مسببًا للإزعاج، فإن الكثير من عدم الارتياح هذا يرتبط بمفهومنا عن كلمة «آلة.» تذكر أن مفهومنا عن هذه الكلمة سوف يتطور مع تطور عقولنا.

بالنسبة لتحويل أجسامنا، فنحن بالفعل متقدمين في هذه العملية أكثر من تطوير أمخاخنا. لدينا أجهزة تيتانيوم لإحلالها محل أفكاكنا، وجماجمنا، وأوراكنا. لدينا جلد اصطناعي من أنواع مختلفة. ولدينا صمامات قلب اصطناعية. ولدينا أوعية اصطناعية لتحل محل الشرايين والأوردة، إضافة إلى دعامات قابلة للتمدد تتيح دعمًا بنيويًّا للأوعية الضعيفة طبيعيًّا. ولدينا أذرع، وأرجل، وأقدام وزراعات نخاعية اصطناعية. ولدينا كل أنواع المفاصل، والأفكاك، والركب، والأكتاف، ومفاصل الساعد، والمعاصم، وأصابع اليد، وأصابع الأقدام. لدينا زراعات للتحكم في مثاناتنا. ونقوم بتطوير آلات — بعضها مصنوع من مواد صناعية، والأخرى تجمع مواد جديدة مع خلايا مستنبتة — ستستطيع أخيرًا أن تحل محل أعضاء مثل الكبد والبنكرياس. لدينا عضو صناعي قضيبي ذي مضخات صغيرة لمحاكاة الانتصابات. ولدينا منذ وقت طويل زراعات للأسنان والأثداء.

بالطبع، فإن تصور إعادة البناء بالكامل لجسمنا بمواد صناعية، حتى لو كانت أفضل إلى حد ما، ليس إجباريًّا على الفور. نحن نحب ليونة أجسادنا. نحب أن تكون الأجسام لينة وقابلة للاحتضان ودافئة. وليس دفئًا ظاهريًّا، ولكن حرارة عميقة حميمية تضخها تريليونات خلاياها الحية.

إذن دعنا ننظر في تعزيز أجسادنا خلية بخلية. لقد انطلقنا في هذا الطريق أيضًا. لقد سجلنا جزءًا من الشفرة الوراثية الكاملة تصف خلايانا، وبدأنا العملية لكي نفهمها. وفي المستقبل القريب، نأمل أن نصمم علاجات جينية لتحسين خلايانا، ولإزالة علل مثل مقاومة الإنسولين المصاحبة للنوع الثاني من مرض السكر، وفقد السيطرة على التكاثر الذاتي المصاحب للسرطان. وإحدى الطرق المبكرة لتأمين العلاجات الجينية تم من خلال إصابة المريض بعدوى فيروسات معينة تحتوي على الدي إن إيه التصحيحي. وهناك طريقة أكثر كفاءة طورها د. كليفورد ستير Clifford Steer في جامعة مينيسوتا تستخدم رنا RNA الجزيئات لتوصيل الدي إن إيه DNA المرغوب فيه مباشرة.[2] على رأس قائمة الباحثين للتحسينات الخلوية للمستقبل من خلال الهندسة الوراثية إبطال جيناتنا الخاصة بالانتحار الخلوي. تلك الجدائل ذات العقد الخرزية، التيلوميرات telomeres، تصبح أقصر في كل مرة تنقسم فيها. وعندما يصبح عدد العقد الخرزية للتيلومير صفر، لا تستطيع الخلية أن تنقسم بعد ذلك، وتدمر نفسها. هناك قائمة طويلة من الأمراض،

واعتلال التقدم في العمر، والعيوب التي نعتزم معالجتها بتعديل الشفرة الوراثية التي تتحكم في خلايانا.

لكن هناك فقط حدودًا لما يمكننا أن نفعله بهذه المقاربة. تعتمد خلايانا القائمة على الدي إن إيه على تخليق البروتين، وبينما يعتبر البروتين مادة متعددة بشكل مدهش، فإنه يعاني من حدود قاسية. يشير هانس مورافيك Hans Moravec، أحد المفكرين الجادين الذين أدركوا قدرة آلات القرن الحادي والعشرين، إلى أن «البروتين ليس مادة مثالية. فهو مستقر فقط في نطاق ضيق من درجات الحرارة والضغط، وبالغ الحساسية للإشعاع، ويمنع الكثير من إنشاء التقنيات والعناصر ... يمكن للإنسان الفائق المهندس وراثيًّا أن يكون فقط نوعًا ذا قيمة رديئة من الروبوت، يتم تصميمه تحت عائق أن بنيته يمكن أن تكون فقط تخليق بروتين بتوجيه من الدي إن إيه. وتكون له ميزة فقط من وجهة نظر الشوفينيين البشر».[٣]

ومع ذلك فإن أحد أفكار التطور التي تستحق الاحتفاظ بها هي بناء أجسادنا من الخلايا. يمكن لهذه المقاربة أن تبقي على الكثير من الخواص المفيدة لأجسامنا: الوفرة التي تتيح درجة عالية من إمكانية الاعتماد عليها، القدرة على إعادة التوليد والإصلاح الذاتي، والمرونة والدفء. لكن حيث إننا سنتخلى في النهاية عن السرعة البطيئة إلى حد بعيد لعصبوناتنا، سوف نضطر في النهاية إلى التنازل عن القيود الأخرى لكيميائنا المعتمدة على البروتين. ولإعادة ابتكار خلايانا، نعوِّل على التقنيات الرئيسية للقرن الحادي والعشرين: التكنولوجيا النانومترية nanotechnology.

### التكنولوجيا النانومترية: إعادة بناء العالم ذرة بذرة

> يمكن لمسائل الكيمياء والبيولوجيا أن تكون لها فائدة كبيرة إذا... لقد تطورت أخيرًا صناعة الأشياء على المستوى الذري — وهو تطور أعتقد أنه لا يمكن تجنبه.
>
> ريتشارد فينمان Richard Feynman

> افترض أن شخصًا ما ادعى أن لديه نسخة ميكروسكوبية دقيقة (من الرخام، حتى) لـ«داود في بيته» لمايكل أنجلو. عندما تذهب لتلقي نظرة على هذه الأعجوبة، تجد قطعة بيضاء من الرخام الأبيض النقي مستطيلة الشكل

تقريبًا، بارتفاع عشرين قدمًا، قائمة في حجرة معيشته. «لم ألتفت إليها بعد لأفتح محتوياتها» هذا ما يقوله، «لكنني أعرف أنها موجودة هناك.»

دوجلاس هوفستادتر Doglas Hofstadter

ما هي الأفضليات التي ستكون لمحمصة الخبز الكهربائية النانوية عن تقنية المحمصة التقليدية المرئية؟ أولًا، التوفير في الحيز المقابل جدير بالاعتبار. أحد وجهات النظر الفلسفية التي لا يجب إغفالها أن ابتكار أصغر محمصة خبز كهربائية في العالم يتضمن وجود أصغر شريحة خبز في العالم. وعند الحد الكمي يجب بالضرورة أن نصادف جسيمات محمصة أساسية، وهي ما نسميه هنا «قطع خبز صغيرة هشة.»

جيم تسير Jim Czer،

سجل البحث بعيد الاحتمال،

إعداد مارك أبراهامز Marc Abrahams

وُجد أن أول أدوات للجنس البشري كانت أشياء: عصي تم استخدامها لاقتلاع الجذور وأحجار تم استخدامها لتحطيم الجوز. احتاج أسلافنا إلى عشرات الآلاف من السنين لابتكار نصل حاد. ونحن نصنع الآن آلات بآليات معقدة مصممة بصورة رائعة، لكن إذا نظرنا لها على المستوى الذري، لا تزال تقنيتنا غير متقنة. «السبك، والتجليخ، والتفريز، وحتى الطباعة الحجرية تحرك الذرات في حشود إحصائية بالغة الضخامة» كما يقول رالف ميركل Ralph Merkle، عالم نظريات رائد في مجال التكنولوجيا النانومترية في مركز أبحاث بالو ألتو في زيروكس. ويضيف أن طريق التصنيع الحالية «تشبه محاولة صنع الأشياء خارج ليجوس Legos بضرب قفازات الملاكمة في ... وفي المستقبل سوف تجعلنا التكنولوجيا النانومترية نقلع عن قفازات الملاكمة».[٤]

التكنولوجيا النانومترية هي تقنية قائمة على المستوى الذري: صناعة الآلات ذرة بذرة. وتشير «نانو» إلى جزء من مليار من المتر، وهو مقياس خمس ذرات كربون. لدينا برهان موجود لإمكانية تنفيذ التكنولوجيا النانومترية: الحياة على الأرض. تصنع الآلات الصغيرة في خلايانا التي تسمى الجسيمات الرايبوسومية ribosomes كائنات حية مثل جزيء واحد بشري، وهو حمض أميني واحد، في المرة الواحدة، تبعًا لقوالب رقمية مشفرة

في جزيء آخر يسمى الدي إن إيه. لقد سيطرت الحياة على الأرض على الهدف النهائي للتقنية النانومترية، وهو التكاثر الذاتي.

لكن كما ذكرنا سابقًا، الحياة الأرضية محدودة بلبنة البناء الجزيئية الخاصة التي اختارتها. تمامًا مثل تقنية الحوسبة من ابتكار الإنسان التي ستتخطى في النهاية قدرة الحوسبة العصبية (الدوائر الإلكترونية بالفعل أسرع ملايين المرات من الدوائر العصبية البشرية)، وأيضًا سوف تتخطى تقنيتنا الفيزيائية للقرن الحادي والعشرين إلى حد بعيد قدرات التكنولوجيا القائمة على الحمض الأميني في العالم الطبيعي.

تم وصف مفهوم بناء الآلات ذرة بذرة لأول مرة في ١٩٥٩ في محاضرة في كالتك (معهد كاليفورنيا للتقنية) بعنوان «هناك متسع كبير في القاع»، لعالم الفيزياء ريتشارد فينمان، وهو نفس الرجل الذي يعتبر أول من اقترح إمكانية الحوسبة الكمية.[٥] وتم تطوير الفكرة ببعض التفاصيل بواسطة إريك دركسلر بعد عشرين عامًا في كتابه «آلات الابتكار.»[٦] وألهم الكتاب بالفعل حركة تجميد الجثث انتظارًا لتطورات طبية تعيدها إلى الحياة cryonics في الثمانينيات، حيث يتم تجميد رؤوس الأشخاص (مع أو بدون الجسم) على أمل أن الزمن المقبل سوف يشهد تقنية على المستوى الجزيئي للتغلب على أمراضهم القاتلة، بالإضافة إلى محو تأثيرات التجميد وإذابة التجميد.

أما عن توافر الحوافز لدى جيل في المستقبل لإعادة الحياة إلى هذه الأمخاخ المجمدة فهذا أمر آخر.

بعد نشر «آلات الابتكار»، كان رد الفعل تجاه أفكار دركسلر هو الشك وبصعوبة استوفى متطلبات لجنة دكتوراة الفلسفة في معهد ماساتشوستس للتقنية رغم موافقة مارفن منسكي على الإشراف عليها. وقدمت أطروحة دركسلر، التي نُشرت في ١٩٩٢ في كتاب بعنوان «النظم النانوية: المعدات الآلية الجزيئية، والصناعة والحوسبة»، برهانًا شاملًا على المفهوم، بما في ذلك تحليلات تفصيلية وتصميمات خاصة.[٧] بعد عام جذب أول مؤتمر عن التكنولوجيا النانوية القليل فقط من عشرات الباحثين.

وفي المؤتمر السنوي الخامس، الذي عُقد في ديسمبر ١٩٩٧، تفاخر المؤتمر بـ ٣٥٠ عالم كانوا بعيدين تمامًا عن الثقة في الملاءمة العملية لمشروعاتهم بالغة الصغر. وكانت تقديرات نانوثينك Nanothinc، وهو منتدى للمفكرين الصناعيين، في ١٩٩٧ أن هذا المجال ينتج بالفعل ٥ مليارات دولار في الإيرادات السنوية للتقنيات المرتبطة بالتكنولوجيا النانوية، بما في ذلك الآلات بالغة الصغر، وتقنيات التصنيع بالغ الصغر، والطباعة

النانوية، والميكروسكوبات على المقياس النانوي، وغيرها. وكان هذا الرقم يزيد عن التضاعف كل سنة.[٨]

## عصر الأنابيب النانوية

ومرة أخرى نقول إن إحدى مواد بناء الآلات بالغة الصغر هو الأنابيب النانوية nanotubes. ومع أنها تُبنى على المقياس الذري، فإن الأنماط السداسية لذرات الكربون قوية ومتينة إلى أقصى درجة. «يمكنك عمل أي شيء ترغب فيه بالتأكيد من هذه الأنابيب وسوف تواصل القيام به»، هذا ما يقوله ريتشارد سمالي Richard Smalley، أحد علماء الكيمياء الحائز على جائزة نوبيل لاكتشافه جزيء كرة الباكي.[٩] ستكون السيارة المصنوعة من الأنابيب النانوية أقوى وأكثر استقرارًا من السيارة المصنوعة من الصلب، لكن وزنها سيكون خمسين رطلًا فقط. يمكن أن تكون المركبة الفضائية المصنوعة من الأنابيب النانوية بحجم وقوة مكوك فضاء أمريكي، لكنها لن تزن أكثر من وزن سيارة تقليدية.

وتتعامل الأنابيب النانوية مع الحرارة بشكل جيد تمامًا، أفضل بكثير جدًّا من الأحماض الأمينية الهشة المصنوع منها الناس. يمكن تجميعها في أنواع من الأشكال، ضفائر على هيئة أسلاك، وعوارض متينة، وتروس، إلى آخره. وتتشكل الأنابيب النانوية من ذرات الكربون، وهو موجودة بوفرة في العالم الطبيعي.

وكما ذكرت من قبل، يمكن استخدام نفس الأنابيب النانوية في حوسبة بالغة الكفاءة، لذلك فإن كلاً من تقنية البنيوية والحوسبة في القرن الحادي والعشرين سوف تكون على الأرجح مصنوعة من نفس المادة. وفي الحقيقة، فإن نفس الأنابيب النانوية المستخدمة لتشكيل البنى الطبيعية يمكن استخدامها أيضًا للحوسبة، لذلك يمكن أن يكون لدى آلات المستقبل أمخاخها الموزعة على كل الأجسام.

والأمثلة المشهورة عن التكنولوجيا النانوية حتى الآن، بينما لا تعتبر عملية تمامًا، بدأت تُنتج قابلية للتنفيذ للهندسة على المستوى الذري. ابتكرت آي.بي.إم IBM شعار شركتها المتحدة باستخدام ذرات فردية على هيئة بكسلات.[١٠] وفي ١٩٩٦، صنعت تكساس إنسترومنت Texas Instruments جهازًا في حجم شريحة بنصف مليون مرآة متحركة لاستخدامه في آلة عرض ذات وضوح عالي الجودة.[١١] وباعت تي.أي. TI بما قيمته ١٠٠ مليون دولار من مراياها النانوية في ١٩٩٧.

ويصمم شين-مينج هو Chin-Ming Ho من UCLA آلات طائرة باستخدام أسطح مغطاة بجنيحات بالغة الصغر تتحكم في تدفق الهواء بطريقة مماثلة للجنيحات التقليدية على الطائرة العادية.[١٢] ويصمم أندرو برلين Andrew Berlin في مركز أبحاث بالو ألتو التابع لزيروكس طابعة باستخدام صمامات هواء مجهرية لتحريك الوثائق الورقية بشكل دقيق.[١٣]

وصنع داستين كار Dustin Carr طالب الدراسات العليا في كورنيل Cornel وموسيقار الروك، جيتارًا يشبه الجيتار الحقيقي لكنه جيتار مجهري بأوتار بقطر خمسين نانومتر. ويعتبر ابتكار كار آلة موسيقية ذا كفاءة تامة، لكن أصابعه أكبر بكثير من أن يتمكن من العزف بها. وبجانب ذلك، تهتز الأوتار بمعدل ١٠ مليون ذبذبة في الثانية، وهي قيمة بعيدة تمامًا عن حد العشرين ألف دورة لكل ثانية للسمع الإنساني.[١٤]

### الكأس المقدسة للتكاثر الذاتي: أصابع صغيرة وذكاء قليل

تمثل الأصابع بالغة الصغر ما يشبه الكأس المقدسة بالنسبة لعلماء التكنولوجيا النانوية. بأصابع صغيرة وحوسبة، يمكن أن يكون لدى الآلات النانوية في عالمها القزم ما لدى الناس في العالم الكبير: ذكاء وقدرة على معالجة بيئتهم. عندئذ يمكن لهذه الآلات الصغيرة أن تنتج نسخًا من نفسها، لتنجز بنجاح الهدف الأساسي في هذا المجال.

وسبب أن التكاثر الذاتي مهم هو أنه أمر باهظ التكاليف أن نصنع هذه الآلات دفعة واحدة. ولكي تكون فعالة، تحتاج الآلات بالحجم النانومتري أن تصل إلى التريليونات. والطريقة الوحيدة لإنجاز ذلك باقتصاد في الإنفاق أن يتم من خلال انفجار تجميعي combinatorial explosion: اجعل الآلات تنتج نفسها.

ذكر دركسلر، وميركل (المشترك في ابتكار تصفير عام مهم، الطريقة الرئيسية لتشفير الرسائل) وآخرون بحجج مقنعة كيف يمكن تركيب مثل هذا الروبوت النانوي ذاتي الاستنساخ — النانوبوت nanobot. تتمثل الحيلة في إمداد النانوبوت بمعالِجات ذت مرونة كافية — أذرع وأرجل — بحيث يستطيع صناعة نسخة من نفسه. يحتاج إلى وسيلة ما لقابلية الحركة بحيث يمكنه العثور على المواد الخام المطلوبة.

ويحتاج إلى بعض الذكاء بحيث يمكنه حل المشاكل البسيطة التي سوف تظهر عندما يشرع كل نانوبوت في صناعة آلة صغيرة معقدة مثله. وفي النهاية، فإن المتطلب المهم حقًا أنه يحتاج إلى معرفة متى يتوقف عن التكاثر.

## التشكل في العالم الواقعي

يمكن لآلات التكاثر الذاتي المصنوعة على المستوى الذري أن تحول حقًّا العالم الذي نعيش فيه. يمكنها صناعة خلايا شمسية رخيصة إلى حد بعيد، مما يتيح استبدال الوقود الأحفوري الملوث للبيئة. وحيث إن الخلايا الشمسية تتطلب مساحة سطح ضخمة لجمع ضوء شمس كاف، يمكن وضعها في مدار، مع توجيه الطاقة إلى أسفل إلى الأرض.

ويمكن بإطلاق نانوبوتات في تيارات الدم لدينا أن تضاف إلى جهازنا المناعي الطبيعي وتبحث عن مسببات الأمراض وتدمرها، وكذلك خلايا السرطان، والجلطة الشريانية وعوامل المرض الأخرى. في التصورات التي ألهمت المتحمسين للتجميد في انتظار التطور العلاجي، أنه يمكن إعادة بناء الأعضاء المريضة. سوف نستطيع إعادة بناء أي أو كل أعضاء جسمنا وأجهزته، وأن نفعل ذلك على المستوى الخلوي. تحدثت في الفصل السابق عن الهندسة العكسية ومحاكاة الوظيفية الحوسبية البارزة للعصبونات البشرية. وبنفس الطريقة، سيصبح من الممكن عكس الهندسة ونسخ الوظيفية الفيزيائية والكيميائية لأي خلية بشرية. وفي هذه العملية سنكون في موقف يتيح لنا التوسع الضخم في المتانة، والقوة، ونطاق درجة الحرارة، والخواص والقدرات الأخرى للبنات بنائنا الخلوي.

عندئذ سنستطيع أن نقوم بتنمية أعضاء أقوى وأكثر قدرة بإعادة تصميم الخلايا التي تتكون منها هذه الأعضاء وبنائها بمواد ذات وظائف متعددة أكثر، مواد متينة. وبينما نشق هذا الطريق، سنجد أن بعض التصميمات للجسم ذات فائدة على مستويات متعددة. على سبيل المثال، إذا وجدنا أن خلايانا لم تعد معرضة لمسببات الأمراض التقليدية، قد لا نحتاج إلى نفس النوع من الجهاز المناعي. لكننا سنحتاج إلى نظم حماية جديدة مهندسة على المستوى النانومتري ضد تشكيلة جديدة من مسببات المرض النانوية.

الطعام، والملابس، والخواتم الماسية، والمباني يمكن لها جميعًا أن تجمع نفسها جزيئًا بجزيء. وأي نوع من المنتجات يمكن تركيبه على الفور عندما نريد وفي أي مكان نريده. بالفعل، سيعيد العالم تجميع نفسه باستمرار ليستجيب لاحتياجاتنا، ورغباتنا وخيالاتنا المتغيرة. وفي أواخر القرن الحادي والعشرين، سوف تسمح التكنولوجيا النانوية بأن تغير أشياء مثل الأثاث، والمباني، والملابس وحتى الناس، مظهرها وخواصها الأخرى — ومن حيث الجوهر أن تتغير إلى شيء آخر — في كسر من الثانية.

سوف تظهر هذه التقنيات تباعًا (سأحاول رسم الخطوط العريضة للتتابعات المختلفة للتقنية النانوية عندما أتحدث عن عقود القرن الحادي والعشرين في الجزء الثالث من هذا الكتاب). هناك باعث واضح لذكر هذا المسار. لو واتتهم الفرصة، سوف

يفضل الناس حماية عظامهم من التهشم، والمحافظة على جلدهم لين، وعلى نظم حياتهم قوية ومليئة بالحيوية، والأجسام التي تحفزها التكنولوجيا النانوية على المستوى المادي، ستكون شائعة ومسيطرة. إنه نوع آخر من المنحدرات الزلقة ــ ليس هناك مجال لإيقاف هذا التقدم حتى يستبدل الجنس البشري على نطاق واسع الأمخاخ والأجسام التي أمدهم بها التطور في البداية.

## خطر واضح ومستقبلي

بدون النسخ الذاتي، لن تكون التكنولوجيا النانوية ممكنة عمليًا ولا اقتصاديًا. وفي تلك المسألة تكمن الصعوبة. ما الذي يحدث إذا فشلت مشكلة برمجيات صغيرة (بدون قصد أو خلاف ذلك) في إيقاف النسخ الذاتي؟ قد يصبح لدينا نانوبوتات أكثر مما نريد. وقد تلتهم كل شيء على مرأى منها.

فيلم «البقعة The Blob» (ويوجد منه نسختان) كان تصورًا عن التكنولوجيا النانوية المستقتلة كالمجنون. كان الشخص الشرير في الفيلم هو تلك المادة الغروية الذكية ذاتية النسخ التي تتغذى على المادة العضوية. فإذا تذكرنا أن التكنولوجيا النانوية من المرجح أن يتم تكوينها من الأنابيب النانوية المعتمدة على الكربون، فإنها ستشكل نفسها كذلك، مثل «البقعة»، من مادة عضوية، وهي غنية بالكربون. وفي ما لا يشبه السرطانات القليلة المعتمدة على الحيوانات، قد تتغذى مجموعة من الآلات النانوية في تفجر أسي على أي مادة قائمة على الكربون. وتعقب كل هذه الكيانات النانوية الذكية الفاسدة قد يشبه محاولة العثور على تريليونات الإبر المجهرية ــ التي تتحرك بسرعة في هذه الحالة ــ في أكوام كثيرة من التبن. كانت هناك مقترحات لتقنيات المناعة على المقياس النانومتري: آلات أجسام مضادة صغيرة صالحة يمكنها أن تطارد الآلات الصغيرة الشريرة. قد يكون على الأجسام المضادة النانوية، بالطبع، أن تزداد على الأقل بسرعة وباء الأشرار النانويين الغزاة. وقد يكون هناك الكثير من الدمار المصاحب لذلك عندما تكف تريليونات الآلات هذه عن المعركة.

والآن وقد أظهرت هذا الشبح، سأحاول، ربما بدون حجج مقنعة، أن أُظهر الخطر. أعتقد أنه سيكون من الممكن هندسة النانوبوتات ذاتية النسخ بطريقة تجعل «الإهمال دون قصد» والانفجار في تعداد هذه الجماعات غير مرجح. وأدرك أن ذلك قد لا يكون مطمئنًا تمامًا، بسبب أن مُطوِّر البرمجيات (مثل تلك الخاصة بالمنافسين لي) تنهار

منتجاته من حين لآخر (لكن من النادر أن يحدث ذلك — وعندما يحدث يكون الخطأ من نظام التشغيل!). هناك تصور في تطور البرمجيات حول تطبيقات لـ«مهمة أساسية.» تلك هي برامج البرمجيات التي تتحكم في عملية يعتمد عليها الناس بشدة. والأمثلة عن برمجيات المهمة الرئيسية تتضمن نظم تدعيم الحياة في المستشفيات، والجهاز الجراحي الآلي، والنظم الآلية للطيران والهبوط، والنظم الأخرى القائمة على البرمجيات التي تؤثر على سلامة شخص أو مؤسسة. سيكون من الممكن ابتكار مستويات مرتفعة إلى حد بعيد من قابلية الاعتماد على هذه البرامج. وهناك أمثلة للتقنيات المعقدة المستخدمة في الوقت الراهن حيث أي تشوه قد يعرض الأمن العام لخطر بالغ. يمكن لانفجار تقليدي في محطة توليد الكهرباء من الطاقة النووية أن ينشر بلوتونيوم قاتل في مناطق الكثافة السكانية. ورغم الانصهار القريب في تشيرنوبل، فإن ذلك كما يبدو قد حدث مرتين في العقود التي شهدت تشغيل مئات من هذه المحطات، وكلا الحادثتين تضمنت فواجع مفاعل حديثة معروفة في منطقة شيليابنسك في روسيا.[١٥] وهناك عشرات الآلاف من الأسلحة النووية، ولم يحدث أن انفجر أي منها عن طريق الخطأ.

أعترف بأن المقطع السابق لا يدعو إلى الثقة بشكل كامل. لكن الخطر الأكبر هو الاستخدام العدائي المتعمد للتقنية النانوية. بمجرد أن تصبح التكنولوجيا الأساسية متوافرة، لن يكون من الصعب جعلها تتكيف باعتبارها أداة حرب أو إرهاب. ليست تلك حالة شخص يريد أن ينتحر فيستخدم هذه الأسلحة. يمكن برمجة الأسلحة النانوية بسهولة لتتكاثر فقط ضد عدو ما، على سبيل المثال فقط ضد منطقة جغرافية خاصة. والأسلحة النووية، بالنسبة لكل قدرتها التدميرية، هي على الأقل محلية نسبيًا في تأثيراتها. وتجعل الطبيعة ذاتية التكاثر للتقنية النانوية ذلك أكثر خطرًا بكثير.

## أجسام افتراضية

لا نحتاج باستمرار إلى الأجسام الحقيقية. لو حدث أننا كنا في بيئة افتراضية، عندئذ فإن الجسم الافتراضي سيقوم بعمله على أفضل وجه. بدأ الواقع الافتراضي بمفهوم ألعاب الكمبيوتر، خاصة تلك التي تتيح بيئة تمت محاكاتها. أولها كان «حرب الفضاء»، تمت كتابتها بواسطة الباحثين الأوائل في الذكاء الاصطناعي لقضاء الوقت بينما ينتظرون تجميع برامجهم على كمبيوتراتهم البطيئة في الستينيات.[١٦] وكان من السهل عرض بيئة

الفضاء الاصطناعي بسهولة على شاشة عرض ذات دقة وضوح منخفضة: كانت النجوم والأجرام الفضائية الأخرى مجرد بكسلات مضيئة.

أصبحت ألعاب الكمبيوتر وألعاب الفيديو المحوسبة أكثر واقعية مع الزمن، لكنك لا تستطيع أن تنغمس تمامًا في هذه العوالم المتخيلة، ليس بدون بعض الخيال. من جهة أولى، يمكنك رؤية أطراف الشاشة، والعالم بالغ الواقعية الذي لم تغادره أبدًا يظل مرئيًّا خلف هذه الحدود.

إذا كان علينا أن ندخل في عالم جديد، من الأفضل أن نتخلص من آثار القديم. في العقد الأخير من القرن العشرين تم تقديم أول جيل من الواقع الافتراضي حيث ترتدي خوذة بصرية خاصة تتولى شأن كل مجال رؤيتك. والأساسي بالنسبة للواقع الافتراضي هو أنك عندما تحرك رأسك، يعيد المشهد نفسه على الفور بحيث تصبح ناظرًا إلى منطقة مختلفة من المشهد في الأبعاد الثلاثة. والهدف هو محاكاة ما يحدث عندما تدير رأسك الحقيقي في العالم الحقيقي: تتغير بسرعة الصور التي تلتقطها الشبكية في عينيك. ويفهم مخك مع ذلك أن العالم ظل ساكنًا وأن الصور تنزلق عبر الشبكتين لديك فقط لأن رأسك يستدير.

ومثل أغلب الجيل الأول في التقنيات، لم يكن الواقع الافتراضي جديرًا بالتصديق تمامًا. ولأن إعادة مشهد جديد يتطلب الكثير من الحوسبة، كان هناك تباطؤ في إنتاج منظر جديد. أي تأخير ملحوظ سيُلمِّح لمخك بأن العالم الذي تنظر إليه ليس حقيقيًّا تمامًا. وأيضًا كانت دقة وضوح الصور في عروض الواقع الافتراضي غير ملائمة لخلق وهم مقبول تمامًا. وأخيرًا فإن خوذات الواقع الافتراضي المعاصر ذات حجم كبير وغير مريحة.

وما نحتاج إليه للتخلص من التأخر في التقديم ولتعزيز دقة وضوح صور العرض يظل حتى الآن هو الكمبيوترات الأكثر سرعة، وهو ما نعرف أنه لا يزال في الطريق. مع ٢٠٠٧، سوف يكون الواقع الافتراضي الأعلى جودة مع بيئات اصطناعية جديرة بالتصديق، وتقديم افتراضي فوري، وعروض عالية التحديد، مريحًا في ارتدائه ومتاحًا بأسعار ألعاب الكمبيوتر.

ويحرص ذلك على اثنين من حواسنا ـــ البصرية والسمعية. والعضو الآخر ذو الوضوح العالي هو جلدنا، والتداخلات «اللمسية» لتقديم تداخل افتراضي لمسي. وواحد منها متاح حاليًّا هو عصا التحكم بالتغذية القسرية المرتجعة force-feedback لمايكروسفت، المستمَد من بحث في الثمانينيات في مختبر وسائل الإعلام في معهد ماساتشوستس للتقنية. وتضيف عصا التحكم بالتغذية القسرية المرتجعة بعض من الواقعية اللمسية على ألعاب

الكمبيوتر، بحيث تشعر بالصوت العميق والعالي للطريق في لعبة قيادة سيارة أو بسحب الخيط في محاكاة لصيد السمك. وظهرت في ١٩٩٨ «الفأرة اللمسية tactile mouse» التي تعمل مثل الفأرة التقليدية لكنها تتيح للمستخدم الشعور بملمس الأسطح، والأشياء، وحتى الناس. إحدى الشركات التي تستحوذ على اهتمامي، شركة التعليم الطبي، تطور مريضًا تمت محاكاته للمساعدة في تدريب الأطباء، وأيضًا تتيح لغير الأطباء القيام بدور الطبيب. وسوف تتضمن تداخلًا لمسيًّا لكي تستطيع الشعور بمفصل الركبة إذا كان مصابًا بكسر أو بالثدي إذا كان فيه أورام.[١٧]

وتشبه عصا التحكم ذات التغذية القسرية المرتجعة في نطاق اللمس شاشات العرض التقليدية في نطاق الرؤية. فهي تسمح بتداخل لمسي، لكنها تغطيه بالكامل. ويظل الباقي من عالمك اللمسي يذكِّرك بحضوره. ولكي تتم مغادرة العالم الحقيقي، على الأقل مؤقتًا، نحتاج إلى بيئة لمسية تستولى على كل حاسة اللمس لديك.

إذن دعنا نبتكر بيئة لمسية افتراضية. رأينا جوانب منها في أفلام الخيال العلمي (وهي دائمًا مصدر جيد لاختراع المستقبل). يمكننا ابتكار بدلة ترصد تحركاتك إضافة إلى تقديم محاكاة لمسية عالية الوضوح. تحتاج البدلة إلى تغذية قسرية مرتجعة لكي تمنع بالفعل حركتك إذا كنت تضغط على عقبة افتراضية في البيئة الافتراضية. إذا كنت تعانق رفيقًا افتراضيًّا، على سبيل المثال، لن ترغب في التحرك مباشرة من خلال جسمه أو جسمها. وهذا سيتطلب بنية تغذية قسرية مرتجعة خارج البدلة، رغم أن مقاومة العائق يمكن الحصول عليها بالبدلة نفسها. وحيث إن جسمك في داخل البدلة لا يزال في العالم الحقيقي، قد يحتاج الأمر إلى وضع كل الأداة الميكانيكية في مقصورة حتى لا تصطدم حركاتك في العالم الافتراضي بالمصابيح والناس في جوارك «الحقيقي.» ويمكن لمثل هذه البدلة أن تنتج استجابة حرارية وبذلك تسمح بمحاكاة الشعور بسطح رطب — أو حتى تغطيس يدك أو كل جسمك في الماء — وهو ما يتم التعبير عنه بتغير في درجة الحرارة وفي انخفاض التوتر السطحي. وأخيرًا يمكن أن نتيح لك منصة تتكون من جهاز ميكانيكي دوار يتحرك بالأقدام لتقف عليه (أو تجلس أو تستلقي)، يسمح لك بالسير أو التحرك هنا وهناك (في أي اتجاه) في بيئتك الافتراضية.

وهكذا بالبدلة، والبنية الخارجية، والمقصورة، والمنصة، والنظارات، وسماعات الأذن، يوشك أن يكون لدينا وسيلة لتغطية كل أحاسيسك. بالطبع سنحتاج إلى نوع من برمجيات الواقع الافتراضي الجيدة، لكن هناك بعضها سيمثل منافسة حامية لتقديم استعراض مهيب ورائع لبيئات جديدة واقعية وغريبة كلما أصبحت البرمجيات الضرورية متوافرة.

نعم، هناك حاسة للشم. سيتطلب التداخل المرن والعام لحاستنا الرابعة تقنية نانوية متطورة إلى حد معقول لتركيب تشكيلة واسعة من الجزيئات يمكننا التقاطها بحاستنا الشمية. وفي غضون ذلك، يمكننا توفير قدرة على نشر تشكيلة من الروائح الطيبة في مقصورة الواقع الافتراضي.

بمجرد أن نكون في بيئة واقع افتراضي، فإن أجسامنا الخاصة — على الأقل النسخ الافتراضية — يمكن أن تتغير أيضًا. يمكننا أن نصبح نوعًا من أنفسنا أكثر جاذبية، وحشًا بشعًا، أو مخلوقًا حقيقيًا أم متخيلًا عندما نتفاعل مع السكان الآخرين لكل عالم افتراضي ندخله.

الواقع الافتراضي ليس مكانًا «افتراضيًّا» تحتاج لأن تذهب إليه بمفردك. يمكنك التفاعل مع أصدقائك هناك (الذين قد يكونون في مقصورات واقع افتراضي آخر، قد تكون بعيدة جدًّا جغرافيًّا). وقد يكون لديك الكثير من الزملاء الذين تمت محاكاتهم لتختار من بينهم أيضًا.

## توصيل مباشر

فيما بعد في القرن الحادي والعشرين، بعد أن تصبح تقنيات الزراعة موجودة في كل مكان وفي كل وقت، سيكون في استطاعتنا ابتكار تفاعل مع بيئات افتراضية دون الدخول في مقصورة واقع افتراضي. سوف تقدم لك زراعاتك العصبية المدخلات الحسية التي تمت محاكاتها للبيئة الافتراضية — ولجسمك الافتراضي — بشكل مباشر في مخك. وبالعكس، لن تحرك حركاتك «الجسم» الحقيقي، ولكن على الأصح جسمك الافتراضي المدرَك. ويمكن لهذه البيئات الافتراضية أن تتضمن أيضًا انتقاء مناسبًا من الأجسام لنفسك. وأخيرًا، ستكون تجربتك واقعية إلى حد بعيد، تمامًا مثل أن تكون في العالم الحقيقي. يمكن أن يدخل أكثر من شخص واحد إلى بيئة افتراضية ويتفاعلون بعضهم مع بعض. وفي الواقع الافتراضي، ستقابل أشخاصًا آخرين حقيقيين وأشخاصًا تمت محاكاتهم — وفي النهاية، لن يكون هناك اختلاف كبير.

سيكون ذلك هو جوهر شبكة المعلومات العالمية في النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين. و«الموقع على الشبكة web site» النموذجي سيكون بيئة افتراضية مدركة، دون الاحتياج إلى عتاد خارجي. «تذهب هناك» بالاختيار العقلي للموقع ثم تدخل العالم. تناقش بنجامين فرانكلين Benjamin Franklin حول سلطات الحرب لدى الرئاسة في موقع التاريخ الاجتماعي. تتزحلق على الجليد فوق جبال الألب على موقع غرفة التجارة

السويسرية (بينما تشعر بالرذاذ البارد للثلج على وجهك). تبقى قريبًا من نجمك السينمائي المفضل في موقع كولومبيا بكتشرز Columbia Pictures. تحصل على بعض من الحميمية الزائدة على موقع بنتهاوس Penthouse أو بلاي جيرل Playgirl.

## الواقع الافتراضي الحقيقي

في أواخر القرن الحادي والعشرين سوف يتخذ العالم «الحقيقي» الكثير من خصائص العالمُ الافتراضي من وسيلة «أسراب» التكنولوجيا النانوية. فكر، على سبيل المثال، في مفهوم عالم الكمبيوترات في جامعة راتجرس جيه. ستورس هال J. Storrs Hall عن «ضباب متعدد الوظائف Utility Fog».[١٨] يبدأ تصور هال مع روبوت صغير يطلق عليه فوجليت Foglet، الذي يتكون من جهاز في حجم خلية الإنسان باثنتي عشر ذراعًا تشير إلى كل الاتجاهات. وفي نهاية الأذرع مقابض تسمح لروبوتات فوجليت بأن تمسك بعضها ببعض بإحكام لتشكيل بنى أكبر. والنانوبوتات هذه ذكية ويمكنها توحيد قدراتها الحسابية مع بعضها البعض لتكوين ذكاء موزع. ويطلق على الفضاء المليء بروبوتات الفوجليت ضباب متعدد الوظائف وله بعض الخواص المثيرة للاهتمام.

بادئ ذي بدء، يواجه الضباب متعدد الوظائف الكثير من المشاكل ليحاكي عدم وجوده في المكان. ويصف هال سيناريو تفصيليًّا بجعل رجل حقيقي يسير خلال غرفة مليئة بتريليونات روبوتات فوجليت ولا يلاحظ شيئًا. وعندما تكون هناك رغبة (وليس معروفًا من الذي تتوافر لديه هذه الرغبة)، يمكن لروبوتات فوجليت أن تحاكي بسرعة أي بيئة بتشكيل كل أنواع التكوينات. وكما يوضح هال، «قد تشبه مدينة الضباب متنزهًا عامًّا، أو غابة، أو روما القديمة في يوم ما ثم مدينة إميرالد Emerald في اليوم التالي.»

يمكن لروبوتات فوجليت أن تبتكر جبهات موجة ضوء وصوت عشوائية في كثير من الاتجاهات لتكوين أي بيئة بصرية وسمعية خيالية. يمكنها أن تبذل مجهودًا في نمط من الضغط لابتكار أي بيئة ملموسة. وبهذه الطريقة، يكون لدى الضباب متعدد الوظائف كل مرونة بيئة افتراضية، باستثناء أنه يوجد في عالم مادي حقيقي. ويمكن للذكاء الموزع لِلضباب متعدد الوظائف أن يحاكي عقول الأشخاص التي تم مسحها (يصف هال ذلك بأنهِ «تم نقلها») والذين يعاد تكوينهم في الضباب متعدد الوظائف باعتباهم «أشخاص ضباب.» وفي سيناريو هال «يمكن للإنسان البيولوجي السير عبر حوائط الضباب، والإنسان الضباب (الذي تم نقله) يمكنه السير خلال حوائط المادة الصماء. وبالطبع يمكن للأشخاص الضباب السير من خلال حوائط الضباب أيضًا.»

وحاليًّا تعتبر التكنولوجيا الفيزيائية للضباب متعدد الوظائف تقليدية إذا صح القول. فروبوتات فوجليت آلات أكبر بكثير من أغلب تصورات التكنولوجيا النانوية. والبرمجيات أكثر تحد، لكنها ستكون أخيرًا قابلة للتنفيذ. يحتاج هال إلى قليل من العمل من زاويته التسويقية: الضباب متعدد الوظائف اسم غير مثير إذا صح القول لمثل هذه المادة متعددة الوظائف.

وهناك تشكيلة من المقترحات لأسراب التكنولوجيا النانوية، حيث يتم إنشاء البيئة الحقيقية من عدد غير محدود من الآلات النانوية المتفاعلة. وفي كل التصورات حول السرب، يصبح الواقع المادي مشابهًا إلى حد بعيد للواقع الافتراضي. قد تكون نائمًا في سريرك في لحظة ما، وتجد الغرفة وقد تحولت إلى مطبخك عندما تستيقظ. بالفعل تتغير الحجرة إلى حجرة طعام حيث لا حاجة هناك إلى مطبخ. سوف تبتكر التكنولوجيا المرتبطة بذلك على الفور أي وجبة ترغب فيها. وبعد أن تنتهي من تناول وجبتك، قد تتحول الغرفة إلى غرفة دراسية أو غرفة ألعاب، أو حمام سباحة، أو غابة صنوبرية، أو تاج محل. لابد أن الفكرة قد صلت إليك.

شيد مارك ييم Mark Yim نموذجًا على مقياس كبير لسرب صغير يوضح إمكانية تنفيذ سرب متفاعل.[١٩] وحصل جوزيف مايكل Joseph Michael بالفعل على براءة اختراع من المملكة المتحدة لتصوره عن سرب تقنية نانوية، لكن ليس من المرجح أن تصميمه سيكون قابلًا للتسويق في عمر براءة اختراعه البالغ عشرين عامًا.[٢٠]

قد يبدو الأمر أنه سيكون لدينا اختيارات متعددة كثيرة. في الوقت الحالي، أمامنا فقط أن نختار ملابسنا، والمكياج، ووجهتنا عندما نخرج. في أواخر القرن الحادي والعشرين، سيكون أمامنا أن نختار جسمنا، وشخصيتنا، وبيئتنا — الكثير من القرارات الصعبة علينا اتخاذها! لكن لا تقلق— سيكون لدينا أسراب ذكاء للآلات لإرشادنا.

## الآلة الحسية

وقد تضاعَف بشهوته
أصبح يبدو كامرأة تتأوه
«تلفيقة» من لحمه

من قصيدة لباري سباكس Barry Spacks
«وحيد في السابعة عشرة»

يمكنني التنبؤ بالمستقبل بافتراض أن المال وهرمونات الذكورة هما القوة المحركة للتقنية الجديدة. لذلك، عندما يصبح الواقع الافتراضي أقل تكلفة من التواعد، سيقضي على المجتمع.

دوجبيرت Dogbert

قد يكون أول كتاب طُبع بالطباعة المتحركة هو التوراة، لكن القرن التالي لاختراع جوتنبرج Gutenberg الذي بدأ عهدًا جديدًا شهد سوقًا مربحة للكتب ذات الموضوعات الشهوانية.[21] وتعتبر تقنيات الاتصال الجديدة ــ الهاتف، والشريط السينمائي وشريط الفيديو ــ سريعة دائمًا في التكيف مع الموضوعات الجنسية. ولا استثناء في ذلك للإنترنت، بتقديرات السوق لعام ١٩٩٨ أن الترفيه على الخط للبالغين يتراوح بين ١٨٥ مليون دولار حسب فوريستر ريسيرش Forrester Research إلى ١ مليار دولار والمصدر هو إنترآكتف ويك Inter@ctive Week. تلك الأرقام عن الزبائن، في الغالب رجال، الذين يدفعون لمشاهدة والتفاعل مع مؤدين ــ أحياء، ومسجلين، ومن تمت محاكاتهم. ويقول تقدير لعام ١٩٩٨ أن ٢٨ ألف موقع على الشبكة تقدم ترفيهًا جنسيًا.[22] ولا تتضمن هذه الأرقام المترافقين الذين توسعوا في هاتف الجنس ليتضمن شرائط سينمائية عبر اجتماع الفيديو على الخط مباشرة.

وتتضمن أقراص ذاكرة القراءة فقط CD-ROMs وأقراص الفيديو الرقمي DVD تقنية أخرى يتم استغلالها للترفيه الجنسي. ورغم أن الجزء الرئيسي من الأقراص الموجهة إلى البالغ تُستخدم كوسيلة لتوصيل شرائط الفيديو مع القليل من التفاعلية المضافة، هناك نوع من أقراص ذاكرة القراءة فقط وأقراص الفيديو تقدم رفاقًا جنسيين افتراضيين يستجيبون إلى الملاطفات التي تعطيها الفأرة.[23] ومثل أغلب الأجيال الأولى من التقنيات، فإن التأثير أقل قابلية للتصديق، لكن أجيال المستقبل سوف تستبعد بعض هذه العيوب، رغم أنها لن تستبعد الميول الجنسية الغريبة. ويعمل المطورون أيضًا على إنجاز فأرة ذات تغذية قسرية مرتجعة بحيث يمكنك الحصول على بعض الحس بما يشبه إحساس شريكك الافتراضي.

وفي أواخر العقد الأول من القرن الحادي والعشرين سوف يتيح لك الواقع الافتراضي أن تكون مع حبيبك ــ شريك رومانسي، أو محترف الجنس، أو رفيق افتراضي ــ بواقعية بصرية وسمعية كاملة. سوف تستطيع أن تفعل أي شيء تريده مع رفيقك ما عدا اللمس، فهو قيد مهم لا يُنكر.

تم تقديم اللمس الافتراضي بالفعل، لكن البيئة الافتراضية البصرية السمعية اللمسية عالية الواقعية لن يتم إنجازها حتى العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين. عند ذلك، يصبح الجنس الافتراضي منافسًا قابلًا للتطبيق للفعل الحقيقي. سوف يستطيع المترافقون المشاركة في الجنس الافتراضي بصرف النظر عن القرب الجسماني في المكان. وحتى مع التقارب، سيكون الجنس الافتراضي أفضل نوعًا ما وأكثر أمنًا بالتأكيد. يتيح الجنس الافتراضي أحاسيس أكثر كثافة ومدعاة للسرور من الجنس التقليدي، إضافة إلى الممارسات الجسمانية التي لا توجد في الوقت الحالي. وهو أيضًا جوهري في الجنس الآمن، حيث لا يكون هناك خطر في التعرض للحمل أو نقل المرض.

في الوقت الحالي، قد يتخيل الأحباء شركاءهم باعتبارهم أشخاصًا آخرين، لكن مستخدمي الاتصال في الجنس الافتراضي لن يكونوا في حاجة إلى الكثير من الخيال. سيكون في استطاعتك تغيير المظهر الجسدي والصفات الأخرى لنفسك ولشريكك. يمكنك أن تجعل حبيبك أو حبيبتك ذات مظهر وشعور مثل نجمتك أو نجمك المفضل دون إذن من شريكك ودون أن يعرف. وبالطبع، ترقب أن يفعل شريكك نفس الشيء الذي تفعله.

سوف يكون للجماعة الجنسية معنى مختلف في هذا المجال أكثر مما يستطيع شخص واحد أن يشارك في نفس الوقت تجربة مع شريك واحد. حيث إن الأشخاص المتعددين الحقيقيين لا يمكنهم السيطرة على حركات شريك افتراضي واحد، تكون هناك حاجة إلى طريقة مشاركة في اتخاذ القرار حول ما يفعله جسم افتراضي واحد. كل مشارك يشترك في جسم افتراضي قد يكون لديه نفس التجربة البصرية والسمعية، مع تحكم مشترك في الجسم الافتراضي المشترك (ربما يعكس نفس الجسم الافتراضي إجماع للحركات التي يقوم بها المشاركون المتعددون). يمكن لحضور كامل من الأشخاص — قد يكونون منتشرين جغرافيًّا — أن يشاركوا في جسم واحد وهم منشغلون في تجربة جنسية مع مؤد واحد.

ستكون الدعارة خالية من الأخطار الصحية المحتملة، مثلها مثل الجنس الافتراضي بشكل عام. باستخدام تقنيات الاتصال اللاسلكي ذو النطاق عالي التردد إلى حد بعيد، لن يحتاج محترفو الجنس أو زبائنهم الدائمين إلى مغادرة منازلهم. من المرجح أن الدعارة الافتراضية سيُسمح بها قانونيًّا، على الأقل إلى مدى أبعد من الدعارة الحقيقية حاليًّا، حيث إنه سيكون من المستحيل السيطرة على أو مراقبة التنوع الافتراضي. ومع التخلص من أخطار المرض المحتملة والعنف، سيكون هناك أساس منطقي أقل بكثير لمنعها.

سوف يلاقي محترفو الجنس منافسة من رفاقهم الذين تمت محاكاتهم ــ المتكونين من خلال الكمبيوتر. وفي المراحل المبكرة، من المرجح أن يكون الشركاء البشر الافتراضيين «الحقيقيين» أكثر واقعية من الشركاء الافتراضيين الناتجين عن المحاكاة، لكن ذلك سيتغير مع الوقت. وبالطبع، عندما يصبح الشركاء الافتراضيون الناتجون عن المحاكاة بنفس قدرة، وحسية واستجابة الشريك البشري الافتراضي الحقيقي، من الذي سيقول أن الشريك الافتراضي الناتج عن المحاكاة ليس شخصًا حقيقيًّا، مع أنه افتراضي؟

هل الاغتصاب الافتراضي ممكن؟ بالمعني الجسدي الصرف، ربما لا. ستكون للواقع الافتراضي وسيلة لدى المستخدمين للإنهاء الفوري لممارستهم. إثارة العواطف والوسائل الأخرى للحث والضغط تعتبر أمرًا آخر.

كيف سيؤثر هذا العدد الكبير من الانتقاءات والفرص الجنسية على مؤسسة الزواج وعلى مفهوم الالتزام في العلاقة؟ سوف تتسبب تقنية الجنس الافتراضي في مجموعة كبيرة من المنحدرات الزلقة، وسوف يصبح تعريف علاقة أحادية التزاوج أقل وضوحًا بكثير. سيشعر بعض الناس بأن الدخول في ممارسات جنسية حادة عند ضرب زر عقلي سوف يدمر مفهوم العلاقة الجنسية الملتزَم بها. وسيرى آخرون، كمؤيدين للترفيه والخدمات الجنسية، أن مثل هذه التسليات هي مصارف صحية وتقوم بالمحافظة على العلاقات الصحية. ومن الواضح أن المترافقين سيحتاجون إلى الوصول إلى آرائهم الخاصة، لكن وضح الحدود الفاصلة سيصبح صعبًا مع مستوى الخصوصية الذي توفره تقنية المستقبل هذه. ومن المرجح أن المجتمع سوف يقبل ممارسات ونشاطات في الميدان الافتراضي تعتبر مكروهة في العالم الطبيعي، حيث ستكون نتائج النشاطات الافتراضية في الغالب (رغم أنها لن تكون كذلك دائمًا) أكثر سهولة في تعطيلها.

وبالإضافة إلى الاتصال المباشر الحسي والجنسي، سيكون الواقع الافتراضي ميدانًا واسعًا لعلاقات الحب بشكل عام. التجول مع حبيبتك عبر شانزليزيه افتراضي، والسير على طول شاطئ كانكان Cancun المكسيكي الافتراضي، والاختلاط بالحيوانات في محمية لعب مختلقة في موزابيق. وكل علاقتك يمكن أن تحدث في الأرض السبرانية Cyberland.

لن يكون الواقع الافتراضي باستخدام تداخل خارجي بصري سمعي لمسي هو التكنولوجيا الوحيدة التي تغير طبيعة الاهتمام بالنشاط الجنسي في القرن الحادي والعشرين. ستصبح الروبوتات الجنسية ــ جنسبوتات sexbots ــ شائعة مع بداية العقد الثالث من القرن الجديد. وحاليًّا، ليست فكرة العلاقات الحميمة مع روبوت أو

دمية ذات جاذبية بشكل عام لأن الروبوتات والدمى غير حية، في الواقع، إلى هذه الدرجة. لكن هذا سيتغير مع حصول الروبوتات على نعومة، وذكاء، ومرونة، وعاطفة قوية تجاه مبتكريها البشريين. (مع نهاية القرن الحادي والعشرين، لن يكون هناك اختلاف واضح بين البشر والروبوتات. ما هو الفرق، في نهاية الأمر، بين الإنسانة التي حسَّنت من جسمها ومخها باستخدام تقنية نانوية وتقنيات حوسبة جديدة، والروبوت التي نالت ذكاء وشهوانية تثير الدهشة لدى مبتكرها الإنساني؟)

مع العقد الرابع، سننتقل إلى دهر الممارسات الافتراضية من خلال زراعات عصبية داخلية. وبهذه التكنولوجيا ستستطيع أن تحصل تقريبًا على كل أنواع التجارب ربما مع أي شخص، حقيقي أو خيالي، في أي وقت. سيشبه الأمر مجرد حجرات الدردشة على الخط المباشر الحالية، باستثناء أنك لن تكون في حاجة إلى أية أجهزة غير متاحة لك بالفعل، وستستطيع القيام بأشياء كثيرة أكثر من مجرد الدردشة. لن تكون مقيدًا بحدود جسمك الطبيعي بما هو عليه ويمكن لشريكك أن يتخذ أي شكل جسدي افتراضي. سيصبح الكثير من أنواع التجارب الجديدة ممكنًا: يمكن لرجل أن يشعر بمثل ما تشعر به المرأة، والعكس بالعكس. حقًّا، ليس هناك سبب يجعلك لا تكون الاثنين في نفس الوقت، مما يجعل خيالاتنا المنفردة حقيقية، أو واقعًا افتراضيًّا على الأقل.

وعندئذ، بالطبع، في النصف الثاني من القرن، سيكون هناك أسراب نانوبوت ــ الضباب الجنسي متعدد الوظائف الوافر السابق، على سبيل المثال. ويمكن لأسراب النانوبوت أن تتخذ أي شكل على الفور وأن تحاكي أي نوع من المظهر، والذكاء، والشخصية التي ترغب أنت فيها أو ترغب هي فيها ــ الشكل الإنسان، مثلًا، إذا كان هذا هو ما يثيرك.

## الآلة الروحية

> لسنا كائنات بشرية تحاول أن تكون روحية. نحن كائنات روحية تحاول أن تكون بشرية.
>
> جاكلين سمول Jacquelyn Small

> الجسم والروح توأم. الرب فقط يعرف أيهما هو أيهما.
>
> تشارلز أ. سوينبورن Charles A. Swinburne

نظل جميعًا في الحالة الدنيا للوجود الإنساني، لكن بعضنا يحدق في النجوم.
أوسكار وايلد Oscar Wilde

الشهوانية والروحانية طريقان نتجاوز بهما حدود واقعنا الجسدي اليومي. وبالفعل، هناك روابط بين عواطفنا القوية الجنسية والروحية، كما تدل عليه الحركات الإيقاعية في وله لفرط السرور المصاحبة لبعض أنواع التجارب الروحية.

## محفزات العقل

نكتشف أن المخ يمكن حثه لتجربة تشكيلة واسعة من المشاعر التي نعتقد في الأصل أنها قد يمكن الحصول عليها فقط من التجربة الواقعية الجسدية أو العقلية. خذ الفكاهة، على سبيل المثال. في مجلة «نيتشر»، يوضح د. إتزاك فريد Itzhak Fried وزملاؤه في جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس، كيف توصلوا إلى محفز عصبي للفكاهة. كانوا يبحثون عن الأسباب الممكنة لنوبات الصرع لدى فتاة مراهقة واكتشفوا أن وضع مجس كهربائي في نقطة معينة في منطقة الحركة التكميلية في مخها يجعلها تضحك. في البداية، ظن الباحثون أن الضحك قد يكون مجرد استجابة حركية غير إرادية، لكن ما أسرع ما أدركوا أنهم كانوا يحفزون الإدراك الأصلي للفكاهة، وليس مجرد الضحك القسري. عندما يتم التحفيز في الموقع المناسب الصحيح في مخها، كانت تجد أن كل شيء مثير للضحك. «أنتم أيها الرجال مضحكين إلى حد بعيد — وأنت تقفون هنا وهناك»، كان هذا هو التعليق النمطي.[٢٤]

ربما يكون تحفيز إدراك الفكاهة بدون الظروف التي نعتبرها مضحكة عادة أمرًا مزعجًا (رغم أنني شخصيًا أجده فكاهيًا). وتتضمن الفكاهة عنصر مفاجأة محددًا. أفيال زرقاء. هاتان الكلمتان المقصود منهما أن تمثلا مفاجأة، لكنهما قد لا يجعلانك تضحك (أو ربما تفعلان ذلك). بالإضافة إلى المفاجأة، تحتاج الحادثة غير المتوقعة لأن يكون لها معنى من خلال إدراك غير متوقع لكنه ذو معنى. وهناك البعض الآخر الذين يُرجعون ذلك إلى أن الفكاهة تتطلب ببساطة ألا نكون قد فهمنا بعد. من الواضح أن المخ لديه شبكة عصبية تكشف الفكاهة من بين إدراكاتنا الأخرى. لو أننا حفزنا مباشرة كاشفات الفكاهة في المخ، عندئذ سيبدو التحفيز العادي بطريقة أخرى مضحكًا إلى حد ما. ويبدو أن نفس الشيء صحيح بالنسبة للمشاعر الجنسية.

في تجارب على الحيوانات، يؤدي تحفيز منطقة صغيرة محددة فيما تحت المهاد hypothalamus بحقنة بالغة الصغر من هرمون التستستيرون إلى أن تشارك الحيوانات في السلوك الجنسي الأنثوي، بصرف النظر عن جنس الحيوان. وتحفيز منطقة مختلفة من ما تحت المهاد يُنتج سلوكًا جنسيًّا ذكوريًّا.

وتدل هذه النتائج على أنه بمجرد أن تصبح الزراعات العصبية عادية، ستكون لدينا القدرة على إنتاج ليس فقط تجارب حسية افتراضية ولكن أيضًا المشاعر المصاحبة لهذه التجارب. يمكننا أيضًا ابتكار بعض المشاعر التي لا تصاحب عادة التجربة. لذلك سيكونُ في استطاعتك أن تضيف بعض الفكاهة إلى ممارساتك الجنسية، إذا رغبت في ذلك (بالطبع، بالنسبة للبعض منا قد تكون الفكاهة بالفعل جزءًا من الصورة).

وسوف تصبح القدرة على السيطرة على وإعادة برمجة مشاعرنا أكثر عمقًا فوق ذلك في أواخر القرن الحادي والعشرين عندما تنتقل التكنولوجيا لما بعد مجرد الزراعات العصبية ونقوم بالتركيب الكامل لعمليات التفكير لدينا في وسيط حوسبة جديد — أي عندما نصبح برمجيات.

نبذل قصارى جهدنا للوصول إلى مشاعر الفكاهة، والابتهاج، والسعادة. وقد يبدو أن القدرة على استدعائها حينما نشاء سينتزع منها معناها. بالطبع، يستخدم الكثير من الناس المخدرات في الوقت الحالي لخلق وتعزيز مشاعر مرغوبة محددة، لكن المقاربة الكيميائية تكون مرتبطة بالكثير من التأثيرات البغيضة. ومع تقنية الزراعة العصبية، سوف تستطيع تعزيز مشاعر الابتهاج والسعادة لديك بدون آثار جسدية بغيضة. وبالطبع يكون احتمال إساءة الاستعمال أكبر بكثير منه مع المخدرات. عندما أمد عالم النفس جيمس أولدس James Olds فئران بالقدرة على الضغط على زر والتحفيز المباشر لمركز الابتهاج في النظام الحوفي limbic system في أمخاخها، ضغطت الفئران على الزر بلا انقطاع، بما يصل غالبًا إلى خمسة آلاف مرة في الساعة، مع إقصاء كل شيء آخر، بما في ذلك الأكل. فقط عندما غلب عليها النوم توقفت مؤقتًا.[٢٥]

ومع ذلك ستكون فوائد الزراعة العصبية قوة لا تُقاوم. ومجرد مثال واحد، يعاني ملايين الأشخاص من العجز عن ممارسة المشاعر القوية بما فيه الكفاية في المتعة الجنسية، وهو أحد الجوانب المهمة في العجز الجنسي. ولن يفوِّت المصابين بهذا العجز فرصة للتغلب على مشكلتهم بواسطة الزراعات العصبية، التي قد تكون لديهم بالفعل في مكانها اللائق لإغراض أخرى. وبمجرد تطوير تقنية للتغلب على العجز، لن تكون هناك طريقة للحد من استخدامها لتعزيز القدرات الطبيعية، ولن تكون هذه القيود مطلوبة بالضرورة.

وستكون القدرة على توجيه مشاعرنا مجرد إحدى المنحدرات الزلقة في القرن الحادي والعشرين.

## إذن ماذا عن التجارب الروحية؟

تلعب التجربة الروحية ــ الشعور بتخطي الحدود الجسدية والمهلكة للحياة اليومية لشخص ما ليشعر بالحقيقة الأكثر عمقًا ــ دورًا أساسيًّا من نواح أخرى في الأديان والفلسفات المتباينة. وليست التجارب الروحية كلها من نفس النوع لكن يبدو أنها تشمل نطاقًا واسعًا من الظواهر العقلية. يبدو أن الرقص في وله لفرط السرور في الإحياء المعمداني ظاهرة مختلفة عن السمو التام لدى راهب بوذي. ومع ذلك يُعد تصور التجربة الروحية على درجة كبيرة من التماثل طوال التاريخ، وتقريبًا في كل الثقافات والأديان، حتى إنه يمثل زهرة زاهية بشكل خاص في الحديقة الفينومينولوجية.

وبصرف النظر عن طبيعة ونشوء التجربة العقلية، أو الروحية أو خلاف ذلك، فبمجرد أن يتوافر لدينا مدخل إلى عمليات الحوسبة التي تبعثها ستكون لدينا الفرصة لفهم ارتباطاتها التبادلية العصبية. ومع فهم عملياتنا العقلية ستأتي فرصة الفوز بتجاربنا العقلية، والعاطفية والروحية، لاستدعائها حينما نشاء، ولتعزيزها.

## التجربة الروحية من الموسيقى المتولدة عن العقل

هناك بالفعل تقنية يبدو أنها تولِّد على الأقل أحد جوانب التجربة الروحية. ويطلق على هذه التكنولوجيا التجريبية الموسيقى المتولدة عن العقل BGM، وهي إبداع جديد من نيروسونيكس NeuroSonics، وهي شركة صغيرة في بلتيمور، في ميريلاند، حيث أعمل مديرًا لها. و BGM نظام موجة مخ بتغذية حيوية مرتجعة يستطيع إثارة تجربة تسمى استجابة استرخاء، وهي التي تصاحب الاسترخاء العميق.[٢٦] مستخدمة BGM تثبت ثلاث صفائح معدنية في رأسها. عندئذ يفحص كمبيوتر شخصي موجات مخها لتحديد طول موجة ألفا المميزة لديها. وموجات ألفا، التي تكون في نطاق من ثمانية إلى ثلاثة عشر دورة في الثانية، تصاحبها حالة تأملية عميقة، مقارنة بموجات بيتا (في نطاق ما بين ثلاثة عشر وثمانية وعشرين دورة في الثانية)، التي يصاحبها تفكير الوعي العادي. لذلك يتم توليد الموسيقى بالكمبيوتر، تبعًا لخوارزم يغير الإشارة الخاصة بموجة مخ المستخدمة.

تم تصميم خوارزم BGM لتشجيع توليد موجات ألفا بإنتاج توليفات تناغمية مثيرة للابتهاج عند اكتشاف موجات ألفا، وأصوات وتوليفات صوتية أقل إثارة للابتهاج عندما يكون اكتشاف ألفا منخفض. وبالإضافة إلى ذلك، أيضًا تؤدي حقيقة أن الأصوات متزامنة مع طول موجة ألفا لدى المستخدمة لتوليد رنين مع إيقاع ألفا الخاص بالمستخدمة، إلى حث إنتاج ألفا.

اكتشف د. هربرت بنسون Herbert Benson، المدير السابق لقسم ارتفاع ضغط الدم في مستشفى بيت إسرائيل في بوسطن وهو الآن في مستشفى إنجلاند ديكونيس في بوسْطن، وباحثون آخرون في معهد طبي هارفارد وبيت إسرائيل، الآلية العصبية الفسيولوجية لاستجابة الاسترخاء، التي تعتبر عكس «حارب أو اهرب» أو «استجابة الإجهاد».[٢٧] ويصاحب استجابة الاسترخاء انخفاض في مستويات الإيبينفرين (الأدرينالين) والنورإيبينفرين (النورأدرينالين)، وضغط الدم، وسكر الدم، والتنفس، وسرعات القلب. وتعتبر الاستثارة المنتظمة لهذه الاستجابة قادرة على إنتاج مستويات انخفاض ضغط الدم الدائم (بقدر ارتفاع ضغط الدم الناتج عن عوامل الإجهاد) والفوائد الصحية الأخرى. وقام بنسون وزملاؤه بإعداد قائمة مفصلة بعدد التقنيات التي يمكنها استثارة استجابة الاسترخاء، بما في ذلك اليوجا وعدد من أشكال التأمل.

كانت لي تجربة مع التأمل، وفي تجربتي الخاصة بواسطة BGM، ومن خلال ملاحظة الآخرين، يبدو أن نظام BGM يحث استجابة تأمل. ويتم الشعور بالموسيقى نفسها كما لو أنها قد تولدت من داخل مخك. وبشكل مثير للاهتمام، إذا استمعت إلى شريط مسجل لموسيقاك الخاصة التي تولدت في مخك، عندما لا تكون مشتبكًا مع الكمبيوتر، لن تجرب نفس إحساس التسامي. ورغم أن نظام BGM المسجَل يعتمد على طول موجة ألفا الشخصية لديك، فإن الموسيقى المسجلة تتزامن مع موجات المخ التي نتجت بواسطة مخك عندما تم توليد الموسيقى لأول مرة، وليس إلى موجة المخ الناتجة خلال الاستماع إلى التسجيل. تحتاج لأن تستمع إلى BGM «حي» للوصول إلى تأثير الرنين.

وتعتبر الموسيقى التقليدية بشكل عام تجربة سلبية. ورغم أن المؤدية قد تكون متأثرة بطرق مبهمة بمستمعيها، فإن الموسيقى التي نستمع إليها بشكل عام لا تعكس استجابتنا. وتمثل الموسيقى المتولدة في المخ كيفية جديدة لموسيقى تتيح للموسيقى أن تتطور باستمرار بناء على التفاعل بينها وبين استجابتنا العقلية الخاصة لها.

هل ينتج BGM تجربة روحية؟ من الصعب قول ذلك. المشاعر الناتجة خلال الاستماع إلى BGM «حي» تشبه المشاعر السامية العميقة، التي يمكنني أحيانًا أن أصل إليها مع التأمل، لكنها تبدو من مصدر يدعو إلى الثقة أكثر مع تلك الناتجة عن BGM.

## موقع الرب

توصل علماء أعصاب من جامعة كاليفورنيا في سان دييجو إلى ما أطلقوا عليه تركيبة الرب البرمجية God module، موضع بالغ الصغر من الخلايا العصبية في الفص الأمامي يبدو أنه ينشط خلال الممارسات الدينية. اكتشفوا هذه الآلية العصبية عندما كانوا يدرسون حالات مرضى مصابين بالصرع يعانون من تجارب روحية عنيفة خلال النوبات المرضية المفاجئة. من الواضح أن الاضطرابات العصبية العنيفة خلال النوبة تحفز تركيبة الرب البرمجية. وبملاحقة النشاط الكهربائي السطحي لمخ بكاشفات جلد عالية الحساسية، توصل العلماء إلى استجابة مماثلة لما كان الأشخاص شديدي التدين غير المصابين بالصرع يُظهرونه من كلمات ورموز تحث معتقداتهم الروحية.

ومنذ زمن بعيد كان علماء البيولوجيا التطورية يفترضون وجود أساس عصبي للتجربة الروحية بسبب تعدد الوظائف الاجتماعية للإيمان الديني. واستجابة لتقارير أبحاث سان دييجو، قال ريتشارد هاريس Richard Harries، أسقف أكسفورد، من خلال متحدث بلسانه أنه «لن يكون من المثير للدهشة إذا كان الرب قد خلقنا بمرفق جسماني للإيمان».[٢٨]

عندما نستطيع تحديد الروابط العصبية لتشكيلة الممارسات الروحية التي يستطيع جنسنا القيام بها، من المرجح أن في استطاعتنا تعزيز هذه الممارسات بنفس الطريقة التي سنعزز بها الممارسات الإنسانية الأخرى. ومع المرحلة التالية للتطور الذي ابتكر جيلًا جديدًا من البشر أكثر قدرة وتعقد بتريليونات المرات من البشر في الوقت الراهن، فإن قدرتنا على الممارسة الروحية والتبصر من المرجح أن تنال أيضًا قوة وعمقًا.

ومجرد وجودنا — نمارس التجربة، ونكون واعين — هو أمر روحي، ويعكس جوهر الروحانية. والآلات، الناشئة من التفكير الإنساني والتي تتفوق على البشر في قدراتها على التجربة، سوف تزعم أنها واعية، وأنها بذلك تكون روحية. سوف تعتقد أنها واعية. وسوف تعتقد أن لديها تجارب روحية. وستكون لديها قناعة بأن هذه التجارب ذات

معنى. وبمعرفة النزعة التاريخية للجنس البشري إلى أنسنة الظواهر التي تواجهنا، واقتناع الآلات، من المرجح أن نعتقد بأنها هكذا بالفعل إذا قالت لنا ذلك.

آلات القرن الحادي والعشرين ـــ القائمة على تصميم التفكير الإنساني ـــ سوف تفعل كما يفعل البشر الذين أنشأوها ـــ الذهاب إلى بيوت العبادة الحقيقية والافتراضية، والتأمل، والصلاة، والتسامي ـــ للاتصال ببعدها الروحي.

---

**دعنا فقط نأخذ أمرًا واحدًا على استقامته: ليست هناك طريقة سأقوم من خلالها بمجامعة كمبيوتر.**

هاي، لا يجب القفز إلى الاستنتاجات. يجب أن تكون ذهنيتك متفتحة.

**سأحاول أن تكون ذهنيتي متفتحة. لكن الجسم المتفتح أمر آخر. فكرة أن أكون على علاقة حميمة بأداة ما، أيًّا كان ذكاؤها، ليست ذات جاذبية كبيرة.**

هل تكلمتِ أبدًا إلى هاتف؟

**إلى هاتف؟ أعني أنا أتكلم مع الناس باستخدام هاتف.**

حسنًا، هكذا سيكون الأمر مع كمبيوتر حوالي ٢٠١٥ ـــ على هيئة جهاز اتصال واقع افتراضي بصري وسمعي ولمسي ـــ مجرد هاتف لأجلك وأجل حبيبك. لكن يمكن فعل أكثر من مجرد الكلام.

**أحب أن أتكلم مع حبيبي ـــ عندما يكون لدى حبيب ـــ بالهاتف. وننظر إلى بعضنا البعض بهاتف الصورة، أو حتى نظام واقع افتراضي كامل، الذي يبدو متمتعًا بحميمية الجو العائلي إلى حد ما. ومع ذلك، فبالنسبة لفكرتك لنقل الإحساس باللمس، أعتقد أنني سأثابر على لمسي لأصدقائي وأحبابي بالأصابع الحقيقية.**

يمكنك استخدام أصابعكِ الحقيقية في الواقع الافتراضي، أو على الأقل أصابعكِ الحقيقية الافتراضية. ولكن ما الأمر عندما تكونين أنت وحبيبك في مكانين منفصلين؟

**أنت تعرف، المسافة تجعل القلب يصبح أكثر غرامًا. وعلى أي حال، ليس علينا أن نلمس بعضنا البعض طوال الوقت. أعني يمكنني أن أنتظر حتى العودة من رحلة عملي، بينما يتعهد هو برعاية الأطفال!**

عندما يتطور الواقع الافتراضي إلى مستوى تفاعل لمسي شامل تمامًا جدير بالثقة، هل سيكون عليك بذل جهد لتجنب أي اتصال جسدي؟

**افترض أن قبلة مساء الخير لن تكون مؤذية.**

المنحدر الزلق! إذن لماذا التوقف عند ذلك؟

**حسنًا، قبلتان.**

بالتأكيد، كما سبق أن قلت، يجب أن تكون ذهنيتك متفتحة.

**عند الكلام عن تفتح الذهن، فإن وصفك لـ«موقع الرب» يبدو كما لو أنه يجعل التجربة الروحية أمرًا تافهًا.**

لن أبالغ في هذا الجانب الوحيد من البحث. من الواضح، أن هناك شيئًا ما يحدث في أمخاخ الناس الذين لديهم تجربة روحية. وأيًّا كانت طبيعة العملية العصبية، فبمجرد الاستحواذ عليها وفهمها، سيكون في استطاعتنا تعزيز التجارب الروحية في مخ تمت إعادة تخليقه يعمل في وسيطه الحوسبي الجديد.

**إذن ستقول هذه الأمخاخ التي تمت إعادة تخليقها إن لديها تجارب روحية. وأنا أفترض أنها سوف تعمل بنفس طريقة التسامي، والمفعمة بالسعادة والنشوة التي يتبعها الناس حاليًّا عندما يحكون عن هذه التجارب. لكن هل ستكون هذه الآلات حقًّا متسامية، وتجرب مشاعر وجود الرب؟ ما الذي سيجربونه، على أي حال؟**

نظل نتراجع إلى قضية الوعي. ستحكي آلات القرن الحادي والعشرين عن نفس نطاق التجارب التي يمارسها البشر. وتبعًا لقانون العائدات المتسارعة، سيحكون حتى عن نطاق أوسع. وسوف يكونون على اقتناع كامل عندما يتحدثون عن تجاربهم. لكن ما الذي سيشعرون به حقًّا؟ كما قلت سابقًا، ليست هناك أية طريقة بالفعل لإدراك التجربة الذاتية لأي كينونة أخرى، على الأقل ليس بالطريقة العلمية. أعنى، يمكننا ملاحظة أنماط قدح زناد التشغيل العصبي، وهلم جرًّا، لكن ذلك يظل مجرد ملاحظة موضوعية.

**حسنًا، هذه هي فقط حدود العلم.**

نعم، هنا حيث من المتوقع من الفلسفة والدين أن يباشرا عملهما. وبالطبع، فإنه من الصعب جدًّا أن يتفقا مع القضايا العلمية.

**يبدو ذلك في الغالب صحيحًا. والآن شيء آخر لست مسرورة تمامًا بهذه الروبوتات النانوبوت التي سوف تتكاثر بلا نهاية. سوف ينتهي بنا الأمر إلى بحر هائل من روبوتات النانوبوت. عندما سينتهون منا، سيبدأون في أكل بعضهم بعضًا.**

هذا الخطر موجود. لكن إذا كتبنا البرمجيات بحذر ...

**أوه، بالتأكيد، مثل نظام التشغيل لديَّ. بالفعل لديَّ القليل من فيروسات البرمجيات التي تضاعف من نفسها حتى تعوق مشغل القرص الصلب.**

ما زلت أعتقد أن الخطر الأكبر يتمثل في استخدامهم العدائي المتعمد.

**أعرف أنك قلت هذا، لكنه لا يطمئن تمامًا. ومرة أخرى، لماذا لا نتخلى فقط عن هذا الطريق بشكل خاص؟**

حسنًا، عليك قول ذلك للعجوز المصابة بهشاشة العظام والتي سيتم علاجها بشكل فعال باستخدام علاج يعتمد على التكنولوجيا النانوية، أو مريض السرطان الذي يتم تدمير السرطان لديه بالقليل من روبوتات النانوبوت التي تسبح خلال أوعيته الدموية.

**أدرك أن هناك الكثير من الفوائد الممكنة، لكن الأمثلة التي قدمتها منذ لحظة يمكن أيضًا الحصول عليها من خلال تقنيات أخرى، تقليدية أكثر، مثل الهندسة الجينية.**

أنا سعيد بأنك ذكرت الهندسة الجينية، لأننا نجد مشكلة مماثلة مع أسلحة الهندسة الجينية. نحن نقترب جدًّا من النقطة التي عندها تكون المعرفة والأجهزة في برنامج معهد دراسات عليا لتقنية حيوية نموذجية، كافية لتخليق مولدات أمراض تتكاثر ذاتيًّا. وبينما يمكن لسلاح هندسة نانوية أن يتكاثر من خلال أية مادة، حية أو ميتة، فإن سلاح الهندسة الجينية لا يتكاثر إلا من خلال مادة حية، ربما فقط أهدافه البشرية. أفهم أن ذلك غير لطيف كثيرًا. وفي الحالة الأخرى، فإن احتمال تكاثر ذاتي لا يمكن التحكم فيه يضاعف من الخطر إلى حد بعيد.

لكن ليس علينا أن نوقف الهندسة الجينية ــ إنها العنصر الفعال في أبحاثنا الطبية. ولها مساهمات كبيرة بالفعل في معالجات الإيدز التي لدينا في الوقت الحالي، ويستخدم مرضى السكر أنواع من الإنسولين مصنعة بالهندسة الجينية، وهناك عقاقير فعالة لخفض الكوليسترول، وهناك علاجات جديدة واعدة للسرطان، وقائمة التطورات تنمو بسرعة. هناك تفاؤل حقيقي بين العلماء المرتابين من نواح أخرى بأننا سنحرز تقدمًا مهمًّا ضد السرطان والمصائب الأخرى باستخدام علاجات الهندسة الجينية.

**إذن كيف سنحمي أنفسنا من أسلحة الهندسة الجينية؟**

بمزيد من الهندسة الجينية ــ عقاقير مضادة للفيروسات، على سبيل المثال.

**وأسلحة الهندسة النانوية؟**

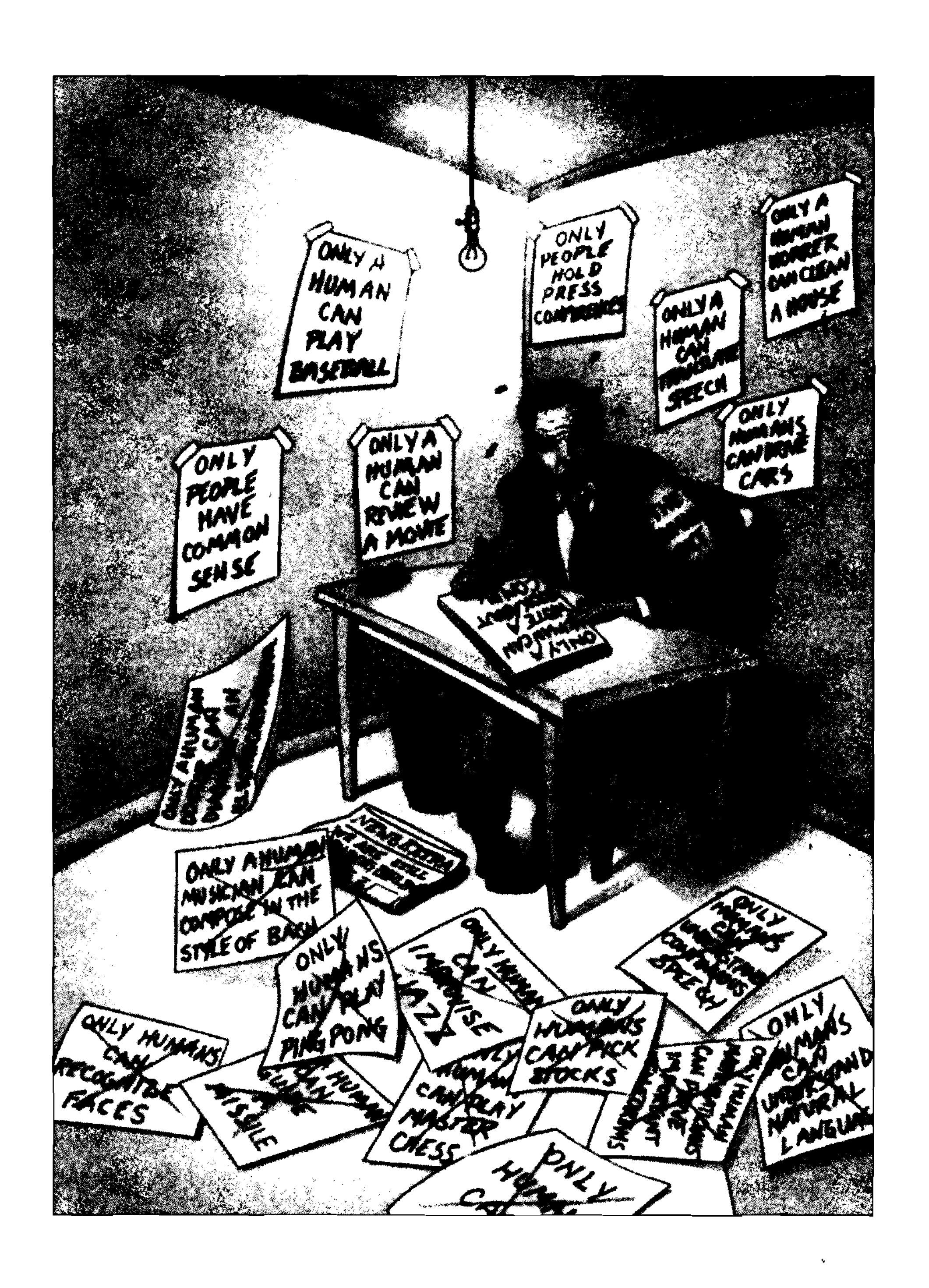
نفس الشيء، المزيد من الهندسة النانوية.

**أتمنى أن تنتصر روبوتات النانوبوت الصالحة، لكن لديَّ شكوك فقط حول كيف سنميز بين روبوتات النانوبوت الصالحة والشريرة.**

سيكون من الصعب التمييز، خاصة لأن روبوتات النانوبوت صغيرة إلى حد بعيد بحيث لا يمكن رؤيتها.

**إلا بواسطة روبوتات نانوبوت أخرى، أليس كذلك؟**

وجهة نظر مهمة.


ONLY A HUMAN CAN PLAY BASEBALL
ONLY PEOPLE HOLD PRESS
ONLY A HUMAN WORKER CAN CLEAN A HOUSE
ONLY A HUMAN CAN
SPEECH
ONLY PEOPLE HAVE COMMON SENSE
ONLY A HUMAN CAN REVIEW A MOVIE
ONLY CAN DRIVE CARS
ONLY A HUMAN MUSICIAN CAN COMPOSE IN THE STYLE OF BACH
ONLY HUMANS CAN PLAY PING PONG
ONLY HUMAN CAN IMPROVISE JAZZ
ONLY HUMANS CAN RECOGNIZE FACES
ONLY CAN PICK STOCKS
CAN PLAY MASTER CHESS
ONLY HUMANS CAN UNDERSTAND NATURAL LANGUAGE
ONLY

الفصل الثامن

# ١٩٩٩

## اليوم الذي توقفت فيه الكمبيوترات

> ترقيم المعلومات بكل أشكالها ربما سُيعرف بأنه التطور الأكثر جاذبية في القرن العشرين.
>
> آن وانج An Wang

> الاقتصاديات، وعلم الاجتماع، وعلم السياسة الطبيعية، والفن، والدين كلها تتيح أدوات قوية كانت كافية لمدة قرون لتفسير المظاهر الجوهرية للحياة. وبالنسبة للكثير من المراقبين، كان يبدو أنه لا شيء جديد حقًّا تحت الشمس — لا حاجة إلى فهم عميق لأدوات جديدة للإنسان — لا ضرورة للهبوط إلى العالم الأصغر للإلكترونيات الحديثة لفهم العالم. العالم بالنسبة إلينا زائد عن الحد تمامًا.
>
> جورج جلدر George Gilder

لو أن كل الكمبيوترات كانت قد توقفت في ١٩٦٠ عن العمل، قد لا يلاحظ ذلك سوى القليل من الناس. قد يرى بضعة آلاف من العلماء وجود تأخير في الحصول على الصفحات المطبوعة من آخر تسليم لمخطوطاتهم من البيانات على بطاقات مثقوبة. وقد تحدث إعاقة لبعض تقارير الأعمال. ليس هناك ما يثير القلق.

نحو عام ١٩٩٩ سيكون الأمر مختلفًا. لو أن كل الكمبيوترات توقفت عن العمل، لتوقف المجتمع في صوت جعجعة. أولًا، قد يفشل توزيع الطاقة الكهربائية. حتى لو استمرت الطاقة الكهربائية (وهو ما لن تفعله)، فبحكم الواقع قد يستمر كل شيء في الانهيار. معظم وسائل النقل ذات المحركات مثبت فيها معالجات دقيقة، لذلك فإن السيارات الوحيدة التي تسير على الطريق قد تكون تلك القديمة جدًّا. لن يكون هناك تقريبًا أي شاحنات، أو باصات، أو سكك حديدية، أو قطارات أنفاق، أو طائرات تعمل. قد لا يكون هناك اتصال إلكتروني: هواتف، وراديو، وتليفزيون، وآلات فاكس، وأجهزة نداء آلي، وبريد إلكتروني، وبالطبع شبكة معلومات عالمية، ستتوقف كلها عن العمل. لن تحصل على شيكك المصرفي. ولا يمكنك صرفه إذا أردت. قد لا تستطيع سحب أموالك من بنكك. وقد يشتغل مجال الأعمال والحكومة على المستوى الأكثر بدائية فقط. وإذا اختفت كل البيانات من كل الكمبيوترات، سنقع في عناء شديد.

كان هناك خوف حقيقي من Y2K (مشكلة عام ٢٠٠٠)، على الأقل أن بعض عمليات الكمبيوتر ستقع في تشوش مع اقترابنا من العام ٢٠٠٠. المخاوف حول Y2K كانت قد ظهرت منذ عقد أو أكثر حيث كانت حقول بيانات التاريخ تستخدم رقمين فقط، مما سيجعل هذه البرامج تسلك بشكل شاذ عندما يصبح العام «صفر صفر.» وأنا أكثر تفاؤلًا من البعض حول هذه القضية المحددة. ويؤدي Y2K إلى إعادة كتابة عاجلة لبرامج مجال الأعمال القديمة التي تحتاج لأن يتم نفض الأيدي منها وإعادة تصميمها بأية طريقة كانت. سيكون هناك بعض الاختلالات (والكثير من حالات التقاضي)، لكن من وجهة نظري ليس من المرجح أن تسبب Y2K المشاكل الاقتصادية الضخمة التي يُخشى منها.[١]

في أقل من أربعين عامًا، انتقلنا من الطرق اليدوية في توجيه حياتنا والحضارة إلى أن أصبحنا معتمدين تمامًا على التشغيل المستمر لكمبيوتراتنا. ويستريح الكثير من الناس لحقيقة أننا لا يزال لنا سيطرة على «القابس»، بحيث نغلق الكمبيوترات إذا أصبحت أكثر غطرسة. وفي الحقيقة، فإن الكمبيوترات هي التي لديها السيطرة الرمزية على قابسنا. (أعطها عقدين آخرين ولن تكون سيطرتها بهذه الرمزية).

وهناك القليل من القلق حول هذا الأمر في الوقت الحالي ـــ في نحو ١٩٩٩ ستكون الكمبيوترات جديرة بالاعتماد عليها، وسهلة الانقياد، ومادة صماء. والقابلية للاعتماد عليها (رغم أنها غير كاملة) ستستمر. لكن سهولة الانقياد لن تستمر. وسيكون البشر، على الأقل الذين لم تجر عليهم عمليات تحديث، هم الذين سيبدو عليهم أنهم مادة صماء خلال عدة عقود من الآن. ولن تبقى سهولة الانقياد أيضًا.

ونظرًا للعدد الكبير المتزايد بسرعة للمهام المحددة، يبدو ذكاء الكمبيوترات المعاصرة لافتًا للانتباه، أو حتى مفزعًا، لكن الآلات الحالية ستظل ضيقة الأفق وهشة. وبالعكس، نحن البشر تكون عمليات هبوطنا أكثر نعومة عندما نتجول خارج النطاقات الضيقة لخبرتنا. وفيما لا يشبه ديب بلو، ليس كاسباروف عاجزًا في أمور بعيدة عن الشطرنج.

الكمبيوترات تنتقل بسرعة إلى عوامل متزايدة التنوع. يمكنني أن أملأ عشرات الكتب بأمثلة عن البراعة العقلية العظيمة للكمبيوترات تقريبًا في نهاية القرن العشرين، لكن لدي عقد حول واحد منها، لذلك دعنا نلق نظرة على بضع أمثلة بارعة.

## الآلة المبدعة

> في زمن مثل زمننا، حيث وصلت المهارة الميكانيكية إلى كمال لا شك فيه، فإن الأعمال المشهورة سوف يمكن الاستماع إليها بسهولة احتساء الشخص لكوب من البيرة، وتتكلف فقط عشرة سنتات، مثل آلات الوزن الأوتوماتيكية. ألا يجب أن نخشى هذا التدجين للصوت، هذا السحر الذي يمكن لأي شخص الحصول عليه من قرص حينما يشاء؟ ألا يؤدي ذلك إلى تبديد القوة الغامضة لفن نعتقد في أنه غير قابل للتلف؟
>
> كلود دبوسي Claude Debussy

> التعاون مع الآلات! ما الفرق بين التعامل مع الآلة والتعاون معها؟.. فجأة، قد تنفتح نافذة على مجال شاسع من الاحتمالات، قد تتلاشى حدود الزمن، وقد يبدو أن الآلات تصبح من عناصر متميزة بخصائص الإنسان، عناصر الشبكة المتفاعلة التي تتألف الآن من المرء نفسه والآلة التي لا تزال مطيعة لكنها ممتلئة باقتراحات للموجهات الرئيسية للتخيل.
>
> فلاديمير أساشفسكي Vladimir Ussachevsky

> كان شخص ما يقول لبيكاسو إنه يجب عليه صنع صور عن الأشياء بالطريقة التي هي عليها — صور موضوعية. فتمتم بأنه لم يكن متأكد تمامًا مما يمكن أن يكون عليه هذا الأمر. وأبرز الشخص الذي كان يتصرف معه بغطرسة صورة فوتوغرافية لزوجته من محفظة جيبه وقال، «هذه

هي، أترى، تلك صورة تعبر عما هي عليه زوجتي.» نظر بيكاسو إليها وقال، «إنها أصغر على الأصح، أليست كذلك؟ ومسطحة؟»

جريجوري باتسون Gregory Batson

لقد بدأ عصر الفنان السبراني cybernetic artist، رغم أنه في مرحلة مبكرة. وكما هو الحال مع الفنانين البشر، لا تعرف أبدًا ما الذي سوف تفعله هذه النظم المبدعة بعد ذلك. ومع ذلك فحتى الآن لم يحدث أن قطع واحد منها أذنًا أو جرى عاريًا في الشوارع. وليس لها بعد أجساد لإظهار هذا النوع من القدرة الإبداعية.

انعكست قوة هذه النظم بأصالة مذهلة غالبًا فيما يخص الأسلوب، أو الشكل، أو الأجزاء الموسيقية المتناغمة. وضعفها، مرة أخرى، له علاقة بالمحتوي، أو نقص ما يتعلق به. وحيث إن هذه الكمبيوترات المبدعة ينقصها تجربة العالم الحقيقي لدي نظيرها من البشر، فإنها تفقد سلسلة الأفكار وتهيم في التشوش. ربما تكون الأكثر نجاحًا بالنسبة للمحافظة على الاتساق الموضوعي خلال عمل فني هي الروبوت الرسام لهارولد كوهين Harold Cohen والذي يطلق عليه هارون Aaron، الذي سأذكره لاحقًا. والسبب الأول في أن هارون ناجح هو شمولية قاعدة بياناته الواسعة، التي أنشأها كوهين قاعدة بقاعدة، لمدة ثلاثة عقود.

## توقف كمبيوترك

القدرة الإبداعية المألوفة لهذه النظم تجعلها متعاونة مميزة مع الفنانين البشر، وبهذه الطريقة، كان للكمبيوترات بالفعل تأثير تطويري على الفنون. وهذا الاتجاه في متناول اليد إلى أقصى حد في الفنون الموسيقية. لقد استخدمت الموسيقى باستمرار التقنيات الأكثر تطورًا المتوافرة، مهارات صناعة الموبيليا الخشبية في القرن الثامن عشر، وصناعات فن صناعة الأدوات من المعادن في القرن التاسع عشر، والإلكترونيات القياسية في الستينيات. والآن، فإن كل الموسيقى التجارية تقريبًا — التسجيلات، والموسيقى المصاحبة للأفلام السينمائية والتليفزيونية — يتم ابتكارها في محطات تشغيل موسيقى الكمبيوتر، التي تركِّب وتعالج الأصوات، وتسجل وتعالج تتالي النغمات، وتولِّد العلامات، بل وحتى تولِّد آليًّا أنماطًا إيقاعية، والنغمات الخفيضة المتناغمة مع الحركة، والتدرجات والتنويعات اللحنية.

وحتى وقت قريب، كانت تقنية العزف على الآلات مرتبطة بشكل لا يمكن فكه بالأصوات المبتكرة. إذا رغبت في أصوات كمان، عليك أن تعزف على الكمان. ونشأت تقنيات العزف من المتطلبات المادية لإنتاج الأصوات. والآن تحطم هذا الارتباط. إذا رغبت في تقنية عزف على الفلوت، أو مجرد تعلمه، يمكنك الآن استخدام وحدة تحكم إلكترونية في النفخ تعزف ببساطة مثل فلوت صوتي يبتكر أيضًا أصواتًا ليس فقط لتشكيلة من الفلوت، ولكن أيضًا تقريبًا أي آلة موسيقية أخرى، صوتية أو إلكترونية. وهناك أيضًا الآن وحدات تحكم تضاهي تقنيات عزف الآلات الصوتية الأكثر انتشارًا، بما في ذلك البيانو، والكمان، والجيتار، والطُبل، وتشكيلة من آلات النفخ. وحيث إننا لم نعد مقيدين بفيزياء تكوين الأصوات بشكل صوتي، يظهر جيل جديد من وحدات التحكم لا تحمل أي تشابه مع أي آلة صوتية تقليدية، لكنها بدلًا من ذلك تحاول أن تستغل إلى أقصى حد العناصر البشرية لابتكار الموسيقى بأصابعنا، بأذرعنا، وأقدامنا، وبفمنا، وبرأسنا. يمكن الآن عزف أية أصوات بشكل متعدد النغمات ويمكن تشكيلها على هيئة طبقات (عزفها بشكل متزامن) وترتيبها بالتسلسل مع بعضها البعض. وأيضًا لم يعد من الضروري عزف الموسيقى في الوقت الحقيقي — يمكن أداء الموسيقى بسرعة معينة ثم إعادة عزفها بسرعة أخرى، بدون تغيير الوضع النسبي للنغمات أو أية خواص أخرى للنغمات. تم التغلب على كل أنواع القيود القديمة، مما يسمح لمراهقة في غرفة نومها أن تصدر أصواتًا مثل أوركسترا سمفونية أو فرقة روك آند رول.

## اختبار تورينج الموسيقي

في ١٩٩٧، نظم ستيف لارسون Steve Larson، بروفيسور الموسيقى في جامعة أوريجون تنويعة لحنية لاختبار تورينج بأن يحاول مستمع تحديد أي من القطع الموسيقية الثلاث تمت كتابتها بواسطة كمبيوتر وأيهما تمت كتابته منذ قرنين بواسطة إنسان يسمى يوهان سيباستيان باخ Johan Sebastian Bach. حدث فقط أن تلقى لارسون إهانة بسيطة عندما صوت المستمعون بأن قطعته الموسيقية الخاصة كانت من تأليف الكمبيوتر، لكنه شعر إلى حد ما بأخذ ثأره عندما اختار المستمعون القطعة التي كتبها برنامج كمبيوتر اسمه إمي EMI (تجارب في الذكاء الاصطناعي) باعتبارها تأليف أصيل لباخ. ويصرح دوجلاس هوفستادتر، المراقب المستمر لفترة زمنية طويلة (والمشارك في) سلسلة متواصلة

من آلات الذكاء، بأن إيمي، الذي ابتكره المؤلف الموسيقي ديفيد كوب David Cope، «المشروع الأكثر إغراء للتفكير في الذكاء الاصطناعي الذي صادفني في أي وقت».[٢]

ربما أيضًا الأكثر نجاحًا هو برنامج يطلق عليه إمبروفيزور Improvisor، كتبه بول هودجسون Paul Hodgson عازف ساكسوفون الجاز البريطاني. يمكن لإمبروفيزور أن يحاكي أساليب تتراوح بين باخ وأعمال الجاز العظيمة للويس أرمسترونج Louis Armstrong وشارلي باركر Charlie Parker. وجذب البرنامج معجبيه الخصوصيين. ويقول هودجسون نفسه، «إذا كنت جديدًا في المدينة وسمعت شخصًا ما يعزف مثل إمبروفيزور، سأكون سعيدًا في مصاحبته».[٣]

ومرة أخرى، فإن ضعف التأليف الموسيقي الراهن بواسطة الكمبيوتر هو ضعف في السياق. «إذا قمت بتشغيل إمي ثلاث ثوان وسألت نفسي ما هذا؟ سأقول باخ»، هذا ما يقوله هوفستادتر. والمقاطع الطويلة ليست دائمًا بهذا القدر من النجاح. وغالبًا «تشبه الاستماع إلى أساليب عشوائية من سوناتة لكيتس Keats. وتندهش ما الذي حدث لكيتس هذه الأيام. هل كان ثملًا تمامًا؟»

## الآلة الأدبية

**ها هو سؤال لك:** ما نوع القاتل الذي لديه خيط ?What Kind of murderer has fiber

**الإجابة ساخرًا:** قاتل الغلة cereal killer.[١]

أسرع بالاعتراف بأنني لم ألفق هذه التورية بنفسي. لقد كتبها برنامج كمبيوتر يطلق عليه جاب JAPE (آلة تحليل وإنتاج الدعابة)، الذي ابتكره كيم بنستيد Kim Binsted. لم ينجح جاب في اختبار تورينج معدل عندما كوّن زوجًا حديثًا مع الممثل الهزلي البشري ستيف مارتين Steve Martin. لقد فضل المستمعون مارتين.[٤] وتتخلف فنون الأدب خلف الفنون الموسيقية حتى في النثر العادي، وهي صفة أدركها تورينج عندما وضع اختبار تورينج حول قدرة البشر على توليد لغة مكتوبة جديرة بالتصديق. والكمبيوترات مع ذلك لها فوائد عملية مهمة لمن هم من بيننا الذين يبدعون أعمالًا مكتوبة. ومن التجهيزات الأكثر تأثيرًا معالج الكلمات البسيط. وباعتبارها ليست تقنية اصطناعية في حد ذاتها، تم اشتقاق معالجة الكلمات من برمجيات محرر النص التي تطورت خلال السبعينيات في مختبرات الذكاء الاصطناعي في معهد ماساتشوستس للتقنية وأماكن أخرى.

[١] المقصود السفاح الذي يقتل أكثر من ثلاث ضحايا بشكل متسلسل serial killer، وواضح أن النطق متماثل وكذلك في السؤال حيث fiber تعني خيط وتعني نسيج ليفي.

استفاد هذا الكتاب بالتأكيد من توافر قواعد البيانات اللغوية، وأجهزة تدقيق التهجي، والقواميس على الخط في الشبكة العالمية، بدون ذكر مصادر الأبحاث الهائلة في شبكة المعلومات العالمية www. وتم إملاء جزء كبير من هذا الكتاب على كمبيوتري الشخصي باستخدام برنامج تمييز الكلام المستمر الذي يُطلق عليه فويس إكسبريس بلاس Voice Xpress Plus من قسم الإملاء في ليرنو أند هاوسبي Lernout & Hauspie (سابقًا كيرزويل للذكاء التطبيقي)، والذي أصبح متوافرًا في منتصف كتابتي لهذا الكتاب. بالنسبة للنحو الآلي وأجهزة التدقيق في الأسلوب، كنت مضطرًا إلى الانصراف عن ميزة ميكروسوفت وورد Microsoft Word الخاصة، حيث بدا أنها تنفر من أغلب جملي. وسأترك النقد الأسلوبي لهذا الكتاب لقرائي البشر (على الأقل في الوقت الحالي).

تساعد تشكيلة من البرامج الكتّاب في الأفكار المُلهَمة. على سبيل المثال، «إنتاج فكرة جديدة من أفكارك»، تبعًا لأدبها الخاص.[٥] وتتيح البرامج الأخرى للكتّاب متابعة الأحداث المعقدة، وتصوير الشخصيات، والتفاعل بين الشخصيات في أعمال مطولة لها طول الروايات، وسلسلة روايات، ومسلسلات الدراما التليفزيونية.

والبرامج التي تكتب بالكامل أعمالًا مبتكرة تمثل تحديًا بشكل خاص لأن القراء البشر يدركون بذكاء المتطلبات النحوية وتلك المتعلقة بالمعنى للغة مكتوبة عاقلة. مؤلفو الموسيقى، أو علم السِّبرانية أو خلاف ذلك، يمكنهم الفوز بشيء من التحكم أكثر من مؤلفي الأعمال الأدبية.

إذا وضعت ذلك في اعتبارك، فكر في ما يلي:

## قصة غدر

أحب داف ستريفر Dave Striver الجامعة. وأحب أبراج ساعاتها المغطاة باللبلاب، وقرميدها القديم الراسخ، ومروجها المتدرجة في اللون الأخضر الزاهية في الشمس والشباب المتحمس. وأحب أيضًا حقيقة أن الجامعة متحررة من الاختبارات المروعة التي لا تغتفر في عالم الأعمال ـــ فقط ليس هذا حقيقيًا: للحياة الأكاديمية اختباراتها الخاصة، وبعضها عديم الرحمة مثله مثل عالم التجارة. المثال الأول هو مبرر الأطروحة: لكي تستحق دكتوراه الفلسفة، لكي تصبح دكتورًا، يجب أن تنجح في امتحان شفهي حول أطروحتك. هذا كان اختبارًا يتمتع البروفيسور إدوارد هارت Edward Hart بإجرائه.

أراد داف يائسًا أن يصبح دكتورًا. لكنه يحتاج إلى توقيعات من ثلاثة أشخاص على الصفحة الأولى من أطروحته، الأسماء المدرجة التي لا تقدر بثمن والتي قد تصادق، معًا، على أنه نجح في مبرر حصوله على الدكتوراه. أحد التوقيعات يجب أن يكون توقيع البروفيسورة هارت، وغالبًا ما كان هارت يقول – للآخرين ولنفسه – إنه يشرفه أن يساعد داف على ضمان حلمه الذي يستحقه تمامًا.

حسنًا، قبل تقديم المبرر، أعطى ستريفر لهارت النسخة قبل الأخيرة لرسالته. قرأها هارت وأخبر داف بأنها ممتازة تمامًا، وأنه سيوقع عليها بسرور عند مناقشة البحث. حتى إنهما تصافحا في مكتب هارت المليء بصفوف الكتب. لاحظ داف أن عيني هارت كانتا مشرقتين وتدعوان إلى الثقة، ولاحظ تصرفاته الأبوية.

عند مناقشة الرسالة، ظن داف أنه اختصر بشكل بليغ الفصل ٣ من أطروحته. كان هناك سؤالان، أحدهما من البروفيسور روجرز والآخر من د. ميتير، وأجاب داف عن كليهما، وكان من الواضح أن الكل مقتنعون. ولم يكن هناك مزيد من الاعتراضات.

وقع البروفيسور روجرز. وحرك المجلد إلى ميتير، ووقعت هي أيضًا، وحركت المجلد إلى هارت. لم يتحرك هارت.

«إيد؟» قال روجرز.

ظل هارت جالسًا في سكون. شعر داف ببعض الاضطراب.

«إدوارد، ألا تريد أن توقع؟»

فيما بعد، جلس هارت وحيدًا في مكتبه، فوق مقعده الجلدي، حزينًا لسقوط داف. حاول أن يفكر في طريق يمكنه من خلالها مساعدة داف في تحقيق حلمه.

حسنًا، هذه هي النهاية. حقًّا القصة نوع من التناقض التدريجي الذي يتلاشى بعد ذلك، تنتهي بتذمر وليس بالأحرى بانفجار. تصف كاتبة سياتل والمحررة سوزان مالكاهي Susan Mulcahy القصة بأنها «غير محترفة» منتقدة نحو المؤلف واختيار الكلمات. لكن سوازن مع ذلك كانت مندهشة ومتأثرة بعمق عندما عرفت أن المؤلف كان كمبيوترًا. والبرنامج الذي كتب القصة، واسمه بروتاس ١ BRUTUS 1، ابتكره سيلمير برنجسجورد Selmer Bringsjord، وداف فيراتشي Dave Ferucci، وفريق مهندسي برمجيات في معهد رنسلير بوليتكنيك. من الواضح أن بروتس ١ خبير في الغدر، وهو مفهوم استغرق من برنجسجورد وفيراتشي ثماني سنوات لتعليمه للكمبيوتر. ويعترف الباحثون بأن برنامجهم يحتاج إلى تعلم قضايا أخرى بجانب الغدر. «من المثير للاهتمام

حقًا الجمع بين كل العواطف» يقول برنجسجورد وفيراتشي، وهو أمر لم يستطع إنجازه بعد المؤلفون السيبرانيون.[٦]

## الشاعر السبراني

مثال آخر عن المؤلف المعتمد على الكمبيوتر هو برنامج الكمبيوتر الذي صممته ويدعى شاعر راي كيرزويل السبراني RKCP. وهو نظام شعر متولد عن كمبيوتر، يستخدم تقنيات نمذجة اللغة لكي ينتج بشكل كامل شعرًا مبتكرًا قائمًا على قصائد تمت «قراءتها».[٧]

يقرأ RKCP مختارات من قصائد لمؤلف خاص أو مؤلفين (من المفضل وجود عدد كبير من المختارات) ثم يولِّد «نموذج لغة» من أعمال هذا الكاتب معتمدة على نماذج ماركوف، وهي قريبة رياضية للشبكات العصبية. يمكن لـ RKCP عندئذ أن يكتب قصائد مبتكرة من النموذج. وكما سبق أن ذكرت، فإن RKCP يستخدم خوارزمية تكرارية لتوليد الشعر للوصول إلى أسلوب لغة، وأنماط أيقاع، وبنية قصيدة من المؤلفين الأصليين الذين تم تحليل قصائدهم. وهناك أيضًا خوارزميات للمحافظة على الاتساق الخاص بالموضوعات خلال القصيدة. وتكون القصائد بنفس أسلوب الكاتب أو الكتَّاب الذي تم تحليله في أول الأمر. لكنها شعر جديد مبتكر تمامًا. وفوق ذلك لدى النظام قواعد لإعاقة نفسه عن انتحال أعمال غيره.

يمكنك تحميل نسخة مجانية من RKCP من www.kurzweiltech.com وفيما يلي تم أخذ عينات صغيرة من قصائد كتبها RKCP بعد أن «قرأ» قصائد لعد من الشعراء المشهورين، بالإضافة إلى شعراء معاصرين أقل شهرة.

## قصائد لشاعر راي كيرزويل السبراني

### صفحة

قصيدة غنائية يابانية لشاعر راي كيرزويل السبراني

بعد قراءة قصائد لويندي دينيس Wendy Dennis

أنسابُ عبر الصفحة

خلال اللبؤة

المستقرة في روحي.

## تخيل الآن وغن

قصيدة كتبها شاعر راي كيرزويل السبراني

بعد قراءة قصائد لويندي دينيس وراي كيرزويل وقصائد حب لمؤلفين آخرين.

تخيل الآن وغن

مبتكرًا أساطيرَ

مشكِّلا جواهرَ من الثلج المتساقط.

## روح

قصيدة غنائية يابانية لشاعر راي كيرزويل السبراني

بعد قراءة قصائد لجون كيتس John Keats ووبندي ديفيس.

أنت حطمت روحي

عصارة الأبدية

حيوية شفتيّ.

## أعتقد أنني سأتحطم

قصيدة لشاعر راي كيرزويل السبراني

بعد قراءة قصائد لراي كيرزويل، وروبرت فروست Robert Frost،

وويندي دينيس.

أعتقد أنني سأتحطم

فقط من أجل نفسي مع الرب

السلام على صوت فضولي

من أجل نفسي في قلبي؟

والحياة تذرف الدموع

من قلب ينزف

من أفرع شجرة تنحني

مثل دروبهم،

والأفرع المنحنية

مثل دروب النسيم

الذي يعرف أننا هناك.

## الازدحام الخانق

قصيدة غنائية يابانية لشاعر راي كيرزويل السبراني

بعد قراءة قصائد لباتريشيا كاماربنا روز Patrcia Camarena Rose

وويندي ديفيس.

الازدحام الخانق

حجرة درس عامة

حيث لا يمكن أن أكون حقيقيًا.

## مندهش

قصيدة لشاعر راي كيرزويل السبراني

بعد قراءة قصائد لداف جيتومير Dave Gitomer

اليوم اندهشت

لو استغرقت في التفكير

اليوم رأيتك

في الهيبة وأنت

لو اندهشت

لو استغرقت في التفكير

اليوم لديَّ أمنية واحدة

لو أنني رأيتك

لو أنني رأيتك

لو أن لي أمنية واحدة.

## طفل القمر

قصيدة غنائية يابانية لشاعر راي كيرزويل السبراني

بعد قراءة قصائد لكاثلين فرانسيس ويلر Kathleen Frances Wheeler

طفل القمر المجنون

يخفي نفسه عن نعشك

نكاية في قدرك

### ملاك

قصيدة كتبها شاعر راي كيرزويل السبراني
بعد قراءة قصائد لباتريشيا كامارينا روز Patrcia Camarena Rose وسيو كلابيس كيلي Sue Klapes Kelly

أشعة الفجر عند الملاك
مع سكون، وبحر هادئ
مع مائة مرة نكتب خلالها
مع الحظ يمكننا افتتاح
إيقاع هادئ في وجهه
غرفة هادئة
بقايا الحب المبعثرة.

### قط

قصيدة غنائية يابانية لشاعر راي كيرزويل السبراني
بعد قراءة قصائد لراندي Randi وكاثرين لين Kathryn Lynn

قط أصفر مُسِن
يرقد نائمًا قانعًا
يجعل قلبًا يتذمر.

### مرت أعوام طويلة

قصيدة كتبها شاعر راي كيرزويل السبراني
بعد قراءة قصائد لراندي Randi وكاثرين لين Kathryn Lynn

مرت أعوام طويلة
وأنا أفكر في الوداع.
محبوس بإحكام في الليل
أفكر في العشق،
يسحبني إلى الأزرق، والليل
خلال ما يجدر تذكره
أجزاء حياتي المحطمة

أجزاء حبي المحطمة
أصبحت بالية.

### صنادل

قصيدة غنائية يابانية لشاعر راي كيرزويل السبراني
بعد قراءة قصائد لكمبرلي مكلوشلين Kimberly Mclauchlin وراي كيرزويل
صنادل مبعثرة
نداء للعودة إلى نفسي،
ومجوف إلى درجة أن أردد الصدى.

### الفنون البصرية

تقع الفنون البصرية بين الفنون الموسيقية والفنون الأدبية فيما يتعلق بتأثير الكمبيوترات عليها. ويتم ابتكار كمية كبيرة من الفن البصري باستخدام برامج رسم وراسم إيضاحي، التي يمكنها محاكاة تأثيرات المواد التقليدية مثل اللمسات الرقيقة في فن الرسم بالإضافة إلى تنفيذ نطاق واسع من التقنيات يمكن تنفيذها فقط على الكمبيوتر. وحديثًا، تولت الكمبيوترات أيضًا أمر أغلب عمليات تحرير الفيديو والفيلم السينمائي.

والشبكة العالمية مملوءة بمصادر الإلهام الفنية للفنانين السبرانيين. وأحد التقنيات الشائعة هي الخوارزم التطوري، الذي يسمح للكمبيوتر بتطوير صورة بتغييرها مئات أو آلاف المرات. قد يجد البشر أن هذه المقاربة صعبة ــ قد يبددون الكثير من الرسم للحصول على شيء واحد. ويستخدم مولِّد الطفرات ميتاتور Mutator، وهو من إبداع النحات وليام لاتان William Lathan ومهندس البرمجيات ستيفين تود Stephen Todd في آي.بي.إم IBM في وينشستر، في إنجلترا، المقاربة التطورية، كما يفعل برنامج كتبه كارل سيمس Karl Sims، فنان وعالم فنون جينية، في كمبردج، في ماساتشوستس.[8]

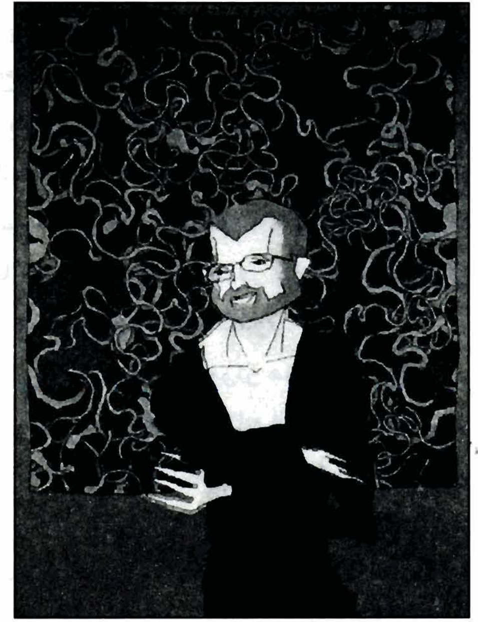
ربما يعتبر الممارس الرائد في الفن البصري القائم على الكمبيوتر هو هارولد كوهين. تم تطوير روبوته المعتمد على الكمبيوتر واسمه هارون ويقوم بإنتاج الرسومات والرسم الفني منذ عشرين سنة. وأعمال الفن البصري هذه مبتكرة تمامًا، وتم توليدها بالكامل بالكمبيوتر، ومزودة بالرسم الفني الحقيقي. لقد قضى كوهين أكثر من ثلاثة عقود وهو يمنح برنامجه معارفًا حول الجوانب المختلفة للعملية الفنية، بما في ذلك التشكيل،

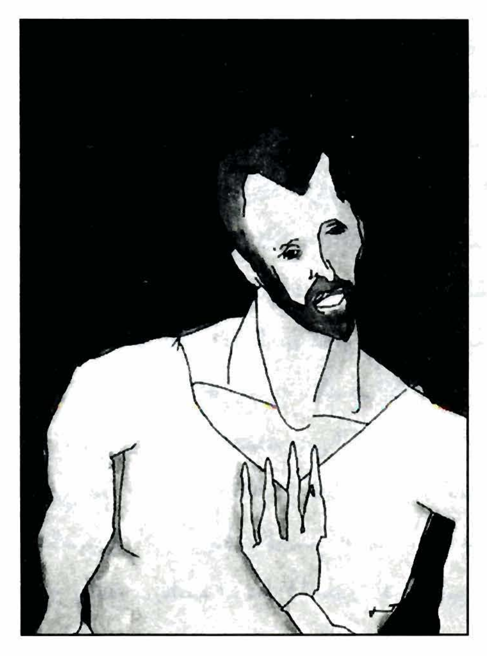
والرسم، والمنظور، واللون، بالإضافة إلى تشكيلة من الأساليب. بينما كتب كوهين البرنامج، فإن الصور التي تم ابتكارها كانت مع ذلك تمثل دائمًا مفاجأة له.

وكثيرًا ما يتم سؤال كوهين حول من يعود إليه الفضل في نتائج مشروعه الضخم، والذي تم عرضه في متاحف حول العالم.[٩] وكوهين سعيد بأن يعود إليه الفضل، ولم تتم برمجة هارون للتذمر. ويعتز كوهين بأنه سيكون أول فنان في التاريخ له عرض يستمر في الإبداع بعد وفاته لأعمال مبتكرة بالكامل.[١٠]

## رسومات فنية لهارون لكوهين

هذه الرسومات الفنية المبتكرة الخمسة رسمها هارون، روبوت يعتمد على الكمبيوتر أنشأه وبرمجه هارولد كوهين. تمت إعادة إنتاج هذه الرسومات الملونة هنا بالأبيض والأسود. ويمكنك رؤية النسخ الملونة في هذا الكتاب على شبكة المعلومات العالمية في www.penguinputnam.com/kurzweil.[١١]











## تنبؤات الحاضر

مع التغير في الألفية الوشيكة ليس هناك نقص في التوقعات حول ما سيكون عليه حال القرن المقبل. للمستقبلية futurism تاريخ طويل، لكنه ليس تاريخًا لافتًا للانتباه بشكل خاص. أحد مشاكل التنبؤات بالمستقبل أنه مع مرور الزمن من الواضح أنها تكون قليلة التشابه مع الأحداث الراهنة، ويكون قد تأخر الوقت كثيرًا على إمكانية استعادة نقودك.

ربما تتمثل المشكلة في أننا نترك أي شخص يقوم بالتنبؤات. وربما علينا أن نطلب شهادة مستقبلية لتسمح بالتكهن. لعل أحد المتطلبات أنه في حالة استعادة الماضي، على الأقل نصف تنبؤاتك المسبقة منذ عشر سنوات أو أكثر لا تكون محرجة تمامًا. ومع ذلك قد يكون برنامج مثل هذه الشهادة عملية بطيئة، وأظن أنها غير دستورية.

لمعرفة سبب أن للمستقبلية مثل هذه السمعة الملطخة، ها هي عينة صغيرة من التنبؤات من أشخاص أذكياء من نواح أخرى:

> «للهاتف الكثير من العيوب بحيث لا يمكن اعتباره على نحو جدّي وسيلة اتصال.»
>
> مدير الاتحاد الغربي Western Union، ١٨٧٦

> «آلات طائرة أكثر ثقلًا من الهواء غير ممكنة.»
>
> لورد كلفن Lord Kelvin، ١٨٩٥

> « أغلب القوانين والحقائق الأساسية المهمة في العلم الفيزيائي تم اكتشافها جميعًا، وهي الآن مؤسسة بشكل راسخ بحيث إن احتمال إضافة أي اكتشافات جديدة إليها في أي وقت هو احتمال بعيد للغاية.»
>
> لبرت أبراهام مكلسون، ١٩١٢

> «ليس للطائرات قيمة حربية.»
>
> بروفيسور مارشال فوش Marshal Foch، ١٩١٢

> «أعتقد أن هناك سوقًا دولية ربما لخمسة كمبيوترات.»
>
> رئيس أي.بي.إم توماس واطسون Thomas Watson، ١٩٤٣

«قد لا يتخطى وزن الكمبيوترات في المستقبل ١,٥ طن.»

بوبيولار ميكانكس Popular Mechanics، ١٩٤٩

«قد يتضح أننا وصلنا إلى حدود ما يمكن إنجازه في تقنية الكمبيوتر، رغم أن علينا أن نحذر من مثل هذه التصريحات، لأنها تميل لأن تصبح خرقاء إلى حد ما خلال خمس سنوات.»

جون فون نويمان John von Neumann، ١٩٤٩

«ليس هناك سبب لأن يكون لديّ الأفراد كمبيوتر في منازلهم.»

كين أولسون Ken Olson، ١٩٧٧

«٦٤٠ ألف بايت من الذاكرة يجب أن يكون كافيًا لأي شخص.»

بيل جيتس Bill Gates، ١٩٨١

«قبل عام ٢٠٠٠ بكثير، سوف يصبح الترتيب العتيق للدرجات الجامعية، وللمتخصصين في أحد الحقول الأكاديمية وشهادات التأهيل في حالة فوضى.»

ألفين توفلر Alvin Toffler

«سوف تنهار الإنترنت على نحو كارثي في ١٩٩٦.»

روبرت متكالف Robert Metcalfe (مخترع الإنترنت)، الذي رجع عن أقواله في ١٩٩٧ (كلمة فكلمة) أمام المستمعين.

والآن عليَّ أن أسرد نجاحي، ويمكن مشاركتك في هذه التنبؤات الخاصة بي والتي وُجد أنها تعمل جيدًا بشكل خاص. لكن بالعودة إلى الكثير من التنبؤات التي قدمتها خلال العشرين سنة الماضية، سأقول أنني لم أجد أن أي منها محرج بشكل خاص (باستثناء، ربما، بالنسبة لبضع خطط أعمال مبكرة).

«عصر الآلات الذكية»، الذي كتبته في ١٩٨٧ وخلال ١٩٨٨، بالإضافة إلى بعض المقالات والأحاديث التي كتبتها في أواخر الثمانينيات، كانت تحتوي على الكثير من تنبؤاتي حول العقد الأخير من القرن العشرين، بما في ذلك ما يلي:[١٢]

**تنبؤ:** سوف يتغلب الكمبيوتر على بطل العالم في الشطرنج في نحو ١٩٩٨، وسوف نعير الشطرنج اهتمامًا أقل نتيجة لذلك.
**الذي حدث:** كما أشرت، لكن التاريخ كان متقدمًا عامًا. آسف.

**تنبؤ:** سيكون هناك هبوط دائم في قيمة المنتجات (أي مصادر المادة) حيث أغلب الثروة الجديدة سيتم إنتاجها في نسبة المعرفة في المنتجات والخدمات، لتقود النمو الاقتصادي المستمر والازدهار.
**الذي حدث:** كما تم التنبؤ به، ارتفع كل ما ورد ذكره (باستثناء، ما تم التنبؤ به أيضًا، ما يتعلق بالمستثمرين على المدى البعيد للمنتجات، التي هبطت ٤٠ بالمائة خلال العقد الماضي). وحتى التقديرات المقبولة من السياسيين من الرئيس حتى الكونجرس كانت مرتفعة كل مرة. لكن الاقتصاد القوي كان له علاقة مع بيل Bill في واشنطن الساحل الغربي أكثر منه مع بيل في واشنطن الساحل الشرقي. ليس أن السيد جيتس له الفضل الرئيسي، لكن القوة الاقتصادية المحركة في العالم اليوم هي المعلومات، والمعرفة، وما يتعلق بهما من تقنيات الكمبيوتر. وأقر رئيس الاحتياطي الفيدرالي ألان جرينسبان Alan Greenspan حديثًا بأن الازدهار الدائم منقطع النظير والتوسع الاقتصادي يعود إلى زيادة الكفاءة الناتجة عن تقنية المعلومات. لكن ذلك هو نصف الحقيقة فقط. يتجاهل جرينسبان حقيقة أن أغلب الثروة الجديدة التي تم إنتاجها هي نفسها تتألف من المعلومات والمعرفة — تريليون دولار في وادي السليكون وحده. زيادة الكفاءة مجرد جزء من القصة. الثروة الجديدة على هيئة تحول السوق إلى رأسمالية في ما يتعلق بالشركات المرتبطة بالكمبيوتر (البرمجيات أساسًا) حقيقية وجوهرية وتساعد الجميع.

تذكر اللجنة الفرعية للمجلس الأمريكي للأعمال المصرفية أنه في فترة السنوات الثمانية بين ١٩٨٩ و١٩٩٧، ازدادت القيمة الكلية للسلع العقارية والسلع المعمرة الأمريكية بنسبة ٣٣ بالمائة فقط، من ٩,١ تريليون دولار إلى ١٢,١ تريليون دولار. وارتفعت قيمة الودائع المصرفية وأدوات سوق الائتمان بنسبة ٢٧ بالمائة فقط، من ٤,٥ تريليون إلى ٥,٧ تريليون دولار. ومع ذلك ارتفعت الأسهم العادية بنسبة مذهلة ٢٣٩ بالمائة، من ٣,٤ تريليون إلى

١١,٤ تريليون دولار! والأداة الرئيسية لهذا الارتفاع هي محتوي المعارف المتزايد بسرعة في المنتجات والخدمات، بالإضافة إلى الكفاءات المتزايدة التي ترعاها تقنية المعلومات. هذا هو موضع إنتاج الثروة الجديدة.

ليست المعلومات والمعرفة مقيدتين بتوافر المصادر المادية، وطبقًا لقانون العائدات المتسارعة سوف تنمو أسيًّا. ويتضمن قانون العائدات المتسارعة عائدات مالية. لذلك فإن أحد تضمينات القانون هو استمرار النمو الاقتصادي.

خلال كتابة هذا الكتاب، كان هناك اهتمام كبير بالأزمة الاقتصادية في اليابان وبلدان أخرى في آسيا. كانت الولايات المتحدة تدفع اليابان لتقليد اقتصادها بتخفيضات على الضرائب ونفقات الحكومة. ومع ذلك كان الاهتمام أقل بالسبب الجذري للأزمة، وهو حالة صناعة البرمجيات في آسيا، والحاجة إلى مؤسسات المقاولات الفعالة لترويج ابتكار البرمجيات والأشكال الأخرى من المعارف. ويتضمن ذلك رأس مال المخاطرة ورأس مال تمويل المشروعات،[١٢] والتوزيع الواسع لبدائل «العمال - رأس المال»، والحوافز التي تشجع وتكافئ المخاطرة. ورغم أن آسيا كانت تسير في هذا الاتجاه، فإن هذه الإملاءات الاقتصادية الجديدة نمت بسرعة أكثر بكثير من توقعات المراقبين (وسوف تستمر أهميتها في الصعود طبقًا لقانون العائدات المتسارعة).

**تنبؤ:** سوف تظهر شبكة معلومات عالمية تربط تقريبًا كل المنظمات وعشرات الملايين من الأفراد (باعتراف الجميع، لم تكن باسم شبكة المعلومات العالمية www).

**الذي حدث:** ظهرت الشبكة في ١٩٩٤ وانطلقت في ١٩٩٥ وخلال ١٩٩٦. والشبكة بالفعل ظاهرة عالمية، وتتحرك في دوامة المنتجات والخدمات على هيئة معلومات حول الكرة الأرضية غير واضعة أي نوع من الحدود في اعتبارها. ويعيد تقرير لوزارة التجارة الأمريكية الفضل إلى الإنترنت في حث النمو الاقتصادي وكبح التضخم. ويتنبأ بأن التجارة على الإنترنت ستتجاوز ٣٠٠ مليار دولار في عام ٢٠٠٠. وتتوقع تقارير الصناعة أن يكون الرقم نحو ١ تريليون دولار، عندما توضع في الاعتبار كل التعاملات البينية في مجال الأعمال التي تتم عبر الشبكة.

**تنبؤ:** ستكون هناك حركة قومية للربط سلكيًّا بين حجرات الدراسة.

**الذي حدث:** أغلب الولايات (باستثناء، لسوء الحظ، ولايتي الخاصة وهي ماساتشوستس) لديها ميزانية من ٥٠ إلى ١٠٠ مليون دولار للربط السلكي بين حجرات الدراسة وتركيب

ما يرتبط بذلك من كمبيوترات وبرمجيات. وإنها لأولوية قومية إتاحة كمبيوتر ومدخل إلى الإنترنت لكل الطلاب. ويظل الكثير من المدرسين أميين نسبيًّا في الكمبيوتر، لكن الأطفال يحصلون على الكثير من المهارة المطلوبة.

**تنبؤ:** في الحرب، سوف يكون هناك تقريبًا اعتماد كامل على التصوير الرقمي، والتعرف على الأنماط، والتقنيات الأخرى القائمة على البرمجيات. وسوف يفوز الجانب الذي يستخدم الآلات الذكية. «وسيظهر تغير عميق في الاستراتيجية العسكرية في بداية العقد الأخير من القرن العشرين. وسوف تعتمد البلدان الأكثر تقدمًا بشكل متزايد على «الأسلحة الذكية»، التي تدمج بين مساعدي الطيارين الإلكترونيين، وتقنيات التعرف على الأنماط، والتقنيات المتقدمة للمراقبة، وتحديد الهوية، والتدمير.»

**الذي حدث:** بعد عدة سنوات من كتابتي لـ«عصر الآلات الذكية»، كانت حرب الخليج أول حرب ترسخ بشكل واضح هذا النموذج. والآن فإن لدي الولايات المتحدة التسليح الأكثر تقدمًا المعتمد على الكمبيوتر وتظل دون منافس في مكانتها باعتبارها قوة عسكرية عظمى.

**تنبؤ:** سوف يتم ابتكار الغالبية العظمي من الموسيقى التجارية بواسطة أجهزة تأليف تعتمد على الكمبيوتر.

**الذي حدث:** أغلب الأصوات الموسيقية التي تسمعها في التليفزيون، وفي الأفلام السينمائية، وفي التسجيلات يتم حاليًّا ابتكارها على أجهزة تأليف رقمية مع أجهزة تحديد التسلسل وأجهزة معالجة صوت تعتمد على الكمبيوتر.

**تنبؤ:** تقنيات التعرف على الأشخاص بشكل يمكن الاعتماد عليه، باستخدام تقنيات التعرف على الأنماط والمطبقة على الأنماط البصرية وأنماط الكلام، سوف تحل محل الأقفال والمفاتيح في الكثير من الحالات.

**الذي حدث:** تقنيات التعرف على الأشخاص التي تستخدم أنماط الكلام ومظهر الوجه بدأ استخدامها حاليًّا في آلات فحص الصرف النقدي والتحكم في الدخول إلى المباني والمواقع الآمنة.[١٤]

**تنبؤ:** مع قدوم الانتشار الواسع للاتصالات الإلكترونية في الاتحاد السوفييتي، سوف تتحرر قوى سياسية لا يمكن التحكم فيها. سوف تكون تلك «طرقًا أكثر قوة بكثير من آلات النسخ التي كانت تحظرها السلطات تقليديًّا.» وسوف تعجز السلطات عن السيطرة عليها. ستكون السيطرة الشمولية على المعلومات قد تحطمت.
**الذي حدث:** محاولة الانقلاب ضد جورباتشوف في أغسطس ١٩٩١ تم تعطيلها أساسًا بالهواتف الخلوية، وآلات الفاكس، والبريد الإلكتروني، والأنواع الأخرى من الاتصالات الإلكترونية واسعة الانتشار والتي لم تكن متاحة من قبل. وبشكل عام، فإن لامركزية الاتصالات ساهمت بقوة في تفتيت المركزية الشمولية السياسية والسيطرة الاقتصادية للحكومة في الاتحاد السوفييتي سابقًا.

**تنبؤ:** لن يكون الكثير من الوثائق على أوراق لأنها ستدمج المعلومات على هيئة أجزاء صوتية ومرئية.
**الذي حدث:** تتضمن الوثائق على شبكة المعلومات عادة أجزاء صوتية ومرئية، والتي توجد فقط في شكلها هذا على الشبكة.

**تنبؤ:** نحو عام ٢٠٠٠، ستظهر شرائح بأكثر من مليار عنصر.
**الذي حدث:** كان التوقيت صحيحًا.

**تنبؤ:** سوف تتوافر تقنية «السائق السبراني» (سيارات القيادة الذاتية التي تستخدم حساسات خاصة على الطرق) مع نهاية العقد الأخير في القرن العشرين وسوف يصبح من الممكن وضع آلات على الطرق السريعة الرئيسية خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين.
**الذي حدث:** تمت تجربة السيارات ذاتية القيادة في لوس أنجلوس، ولندن، وطوكيو، ومدن أخرى. وكانت هناك تجارب واسعة ناجحة في إنترستيت ١٥ Interstate 15 في جنوبي كاليفورنيا خلال ١٩٩٧. ويدرك مصممو المدن الآن أن تقنيات القيادية الآلية سوف توسع إلى حد بعيد من سعة الطرق الموجودة. ويتكلف وضع الحساسات المطلوبة على طريق سريع نحو ١٠ آلاف دولار فقط لكل ميل، مقارنة بنحو ١ إلى ١٠ مليون دولار لكل ميل بالنسبة لإنشاء طرق سريعة جديدة. وسوف تمنع الطرق السريعة الآلية والسيارات ذاتية القيادة أغلب الحوادث على هذه الطرق. ويتنبأ الاتحاد الأمريكي القومي

لنظام الطريق السريع الآلي NAHS بتنفيذ هذه النظم خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين.[١٥]

**تنبؤ:** سوف يظهر التعرف المستمر على الكلام CSR بمفردات لغة كثيرة للقيام بمهام معينة في بداية العقد الأخير من القرن العشرين.

**الذي حدث:** لم يظهر ووبس Whoops، جهاز CSR ذو المفردات الكثيرة لنطاق معين إلا في نحو ١٩٩٦. وفي أواخر ١٩٩٧ وبداية ١٩٩٨، ظهر بشكل تجاري CSR ذو المفردات الكثيرة وبدون تحديد نطاق لإملاء الوثائق المكتوبة (مثل ما حدث مع هذا الكتاب).[١٦]

**تنبؤ:** التقنيات الثلاث المطلوبة لهاتف الترجمة (حيث تتكلم وتنصت بلغة واحدة مثل الإنجليزية، ويسمعك المتصل بك ويرد عليك بلغة أخرى مثل الألمانية) — غير المعتمد على مكبر الصوت (لا يحتاج إلى تدريب على مكبر صوت جديد)، والمستمر، والقادر على التعرف على كمية كبيرة من مفردات لغة الحديث، مع ترجمة اللغة، وتركيب الكلام — سوف يوجد كل ذلك بجودة كافية كأول جيل في هذا النظام في أواخر العقد الأخير من القرن العشرين. بذلك يمكن أن نتوقع «هواتف ترجمة بمستويات مقبولة في الأداء بالنسبة للغات الأكثر انتشارًا على الأقل مبكرًا في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين.»

**حياتي مع الآلات: بعض الأحداث المهمة**

سرت على مقدمة المسرح وعزفت عملًا موسيقيًا على بيانو قديم عمودي الأوتار. ثم جاءت أسئلة نعم أو لا. ارتبكت مس أمريكا سابقًا بيس ميرسون Bess Myerson. لكن النجم السينمائي هنري مورجان Henry Morgan، العضو الثاني المشهور في هذه الحلقة من «لديّ سر»، خمَّن سري: القطعة التي عزفتها تم تأليفها بواسطة كمبيوتر قمت بتطويره وبرمجته. وبعد ذلك في نفس العام، حدث أن قابلت الرئيس جونسون مع فائزين آخرين في العلم من المدارس الثانوية.

في الكلية، أدرت عملًا يتلاءم مع شباب المدارس الثانوية الفنية باستخدام برنامج كمبيوتر كتبته. كان علينا أن ندفع ١٠٠٠ دولار كل ساعة من وقت

الإيجار على الكمبيوتر الوحيد في ماساتشوستس بذاكرة مركزية فائقة مليون بايت، وهو ما سمح لنا بتجهيز كل المعلومات لدينا حول الكليات الثلاثة آلاف في الوطن في الذاكرة في نفس الوقت. تلقينا الكثير من الخطابات من شباب كانوا مبتهجين بالكليات التي اقترحها برنامجنا. وقلة من أولياء الأمور، من جانب آخر، كانوا غاضبين بسبب تقصيرنا في التوصية بهارفارد. تلك كانت أول تجربة لي مع قدرة الكمبيوترات على التأثير على حياة الناس. وبعت هذه الشركة إلى هاركورت براس ووورلد Harcourt Brace & World، الناشرين في نيويورك، وانتقلت إلى أفكار أخرى.

في ١٩٧٤، كانت برامج الكمبيوترات القادرة على تمييز الحروف المطبوعة، والتي تعرف باسم التعرف الضوئي على أسلوب الكتابة OCR قادرة على التعامل مع نوع أو نوعين فقط من أساليب الكتابة المتخصصة. أسست «منتجات كمبيوتر كيرزويل» في ذلك العام لتطوير أول برنامج OCR يمكنه التعرف على أي أسلوب طباعة، وهو ما نجحنا في إنجازه بعد ذلك في ذلك العام. ثم جاء السؤال حينئذ، ما الذي يصلح له؟ ومثل الكثير من برمجيات الكمبيوتر الذكية، كان حلًّا للبحث في أي مشكلة.

حدث أن جلست بجوار رجل أعمى في رحلة طيران، وشرح لي أن الإعاقة الوحيدة الحقيقية التي جربها كانت عجزه عن قراءة المواد المطبوعة العادية. كان من الواضح أن عجزه البصري لا يسبغ عليه أية إعاقة حقيقية في كل من الاتصال والسفر. لذلك وجدت المشكلة التي كنا نبحث عنها — يمكننا تطبيق «كل حروف الطباعة» (أية حروف) لتقنيتنا OCR للتغلب على هذه الإعاقة الأساسية في حالة العمى. لم يكن لدينا الماسحات المنتشرة في كل مكان وفي جميع الأوقات أو أجهزة تركيب النص على الكلام التي لدينا في الوقت الراهن، لذلك كان علينا أن نبتكر هذه التقنيات أيضًا. ومع نهاية ١٩٧٥، جمعنا بين هذه التقنيات الثلاث التي اخترعناها — كل حروف الطباعة OCR، وماسحات الأساس المسطح CCR (جهاز ربط الشحنة)، وأجهزة تركيب النص على الكلام لابتكار أول آلة قراءة من الطباعة للكلام للعميان. كانت آلة القراءة لكيرزويل KRM قادرة على قراءة الكتب العادية، والمجلات، والوثائق المطبوعة الأخرى بصوت مرتفع حتى يمكن للشخص الأعمى أن يقرأ أي شيء يريد قراءته.

وأعلنا عن KRM في يناير ١٩٧٦، ويبدو أنه حرك وترًا حساسًا. نقلت كل برامج شبكة الأخبار في كل الأمسيات الحدث، واستخدم والتر كرونكيت Walter Cronkite الآلة للقراءة بصوت مرتفع علامته المميزة لانتهاء البث، «وهذا هو ما حدث في ١٣ يناير ١٩٧٦.»

وبعد وقت قصير من الإعلان، كنت مدعوًّا في استعراض توداي Today، الذي كان مرهقًا للأعصاب بعض الشيء حيث كان لدينا فقط آلة قراءة واحدة تعمل. وبالفعل، توقفت الآلة عن العمل نحو ساعتين قبل موعدي للمشاركة في بث حي على التليفزيون القومي. قام رئيس المهندسين لدينا بتفكيك الآلة باهتياج، مبعثرًا قطع الإلكترونيات والأسلاك على أرضية الموقع. جاء فرانك فيلد Frank Field، الذي كان على وشك مقابلتي، وسأل إذا كان كل شيء على ما يرام. «بالتأكيد يا فرانك» أجبته. «نحن فقط نجري بعض عمليات الضبط الأخيرة.»

أعاد رئيس المهندسين تجميع آلة القراءة، وظلت متعطلة. أخيرًا، استخدم طريقة قديمة لإصلاح الأجهزة الإلكترونية الحساسة ورمى بآلة القراءة على الطاولة. منذ تلك اللحظة عملت بشكل ممتاز تمامًا. عندئذ استمر ظهورها التليفزيوني الحي بدون أي عائق.

سمع ستيفي وندر Stevie Wonder عن ظهورنا في استعراض توداي، وقرر أن يفحص الأمر بنفسه. كان لدى موظفة الاستقبال لدينا شك في أن الشخص على الطرف الآخر من الخط كان بالفعل المغنى المشهور، لكنها، على أي حال، حولت المكالمة لي. دعوته للحضور، وجرب الآلة. توسل إلينا لنعطيه آلة قراءة له، لذلك قلبنا المصنع رأسًا على عقب لكي ننتهي باستعجال من إنتاج أول وحدة (لم نرغب في إعطائه النموذج الأولي الذي استخدمناه في استعراض توداي، لأنه لا يزال فيه بضع ندوب من المعركة). وأوضحنا لستيفي كيفية استخدامه، وغادر في تاكسي مع آلته الجديدة للقراءة بجانبه.

فيما بعد طبقنا الماسحات و OCR لكل حروف الطباعة على الاستخدامات التجارية مثل إدخال بيانات في قواعد البيانات وفي كمبيوترات معالجات الكلمة الناشئة. وتم ابتكار خدمات معلومات جديدة، مثل ليكساس Lexus (خدمة بحث قانونية على الخط مباشرة) ونكساس Nexus (خدمة أخبار)، باستخدام «آلة كيرزويل لإدخال البيانات» لمسح والتعرف على الوثائق المكتوبة.

في ١٩٧٨، بعد سنوات من الكفاح لرفع تمويلات لمشروعنا الجريء، كنا محظوظين في جذب انتباه واستثمار من شركة كبيرة: زيروكس Xerox. تقوم أغلب منتجات زيروكس بتحويل المعلومات الإلكتروني إلى جريدة. رأوا ماسحة كيرزويل وتقنية OCR باعتبارهما تقدمان جسرًا عكسيًا من عالم الجريدة إلى العالم الإلكتروني، لذلك اشتروا الشركة في ١٩٨٠. يمكنك الاستمرار في شراء OCR الذي طورناه نحن في الأصل، وقد تم تحديثه بشكل مناسب – ويطلق عليه الآن اسم تكست بريدج Xerox TextBridge، واستمر رائدًا في السوق.

حافظت على علاقتي بستيفيووندر، وفي إحدى اجتماعاتنا في استوديو التسجيل الجديد في لوس أنجلوس التابع له في ١٩٨٢، كان يأسى على حال الأعمال في عالم الآلات الموسيقي. فمن جانب، لم يكن هناك عالم للأجهزة السمعية الصوتية، مثل البيانو، والكمان، والجيتار، التي تتيح اختيار ثراء الأصوات المعقدة لأغلب الموسيقيين. وبينما هي مشبعة من الناحية الموسيقية، فإن هذه الآلات تعاني من مجموعة كبيرة من القيود.

معظم الموسيقيين يعزفون فقط آلة واحدة أو اثنتين من الآلات المختلفة. حتى لو استطعت العزف على أكثر من واحدة، لا يمكنك أن تعزف سوى على أكثر من واحدة في نفس الوقت. وأغلب الآلات الموسيقية تنتج فقط نغمة واحدة في نفس الوقت. وكانت هناك وسائل محدودة جدًا متاحة لتكوين الأصوات.

ومن جانب آخر، كان هناك عالم الآلات الإلكترونية، حيث تختفي عيوب التحكم هذه. في العالم القائم على الكمبيوتر، يمكنك تسجيل جزء متناغم من الموسيقى على جهاز تسجيل التسلسل، ثم تعيد عزفه، وتسجل تسلسل آخر فوقه، لتكوين تناغم متعدد الآلات. يمكنك تنقيح النغمات غير الصحيحة بدون إعادة عزف التسلسل كاملًا. ويمكنك تقسيم أصوات متعددة إلى طبقات، لتحسين خواصها الصوتية، وعزف أغاني في الوقت غير الحقيقي، واستخدام تشكيلة ضخمة من التقنيات الأخرى. كانت هناك مشكلة واحدة فقط. الأصوات التي تتعامل معها في العالم الإلكتروني تبدو مفتقرة للتألق، على الأحرى مثل أورغن، أو أورغن تمت معالجته إلكترونيًا.

ألا يكون عظيمًا، كما استغرق ستيفي في التفكير، إذا استطعنا استخدام طرق التحكم المرنة بالكمبيوتر في الأصوات الجميلة للآلات الموسيقية السمعية

الصوتية؟ فكرت في هذا الأمر ووجدت أنه يبدو من الممكن عمله، لذلك أدت هذه المقابلة إلى تأسيس نظم كيرزويل الموسيقية، وحددت سبب وجودها.

مع ستيفي وندر باعتباره مستشارنا الموسيقي، بدأنا الجمع بين عالمي الموسيقى هذين. وفي يونيو ١٩٨٣، عرضنا نموذجًا هندسيًّا أوليًّا لكيرزويل ٢٥٠ K250 وطرحناه بشكل تجاري في ١٩٨٤. وتم اعتبار K250 أول آلة موسيقية إلكترونية تحاكي بنجاح استجابة الصوت المعقد لبيانو كبير وتقريبًا كل الآلات الأوركسترالية الأخرى.

وقبل ذلك كان أبي، الذي كان موسيقيًّا مشهورًا، قد لعب دورًا في تطوير اهتمامي بالموسيقى الإلكترونية. وقبل وفاته في ١٩٧٠، قال لى إنه يعتقد أنني قد أجمع في يوم ما بين اهتمامي بالكمبيوترات واهتمامي بالموسيقى، حيث شعر أن هناك قرابة طبيعية بين الاثنين. أتذكر عندما أراد أبي سماع أحد مؤلفاته الأوركسترالية، كان عليه أن يستأجر أوركسترا كاملة. كان هذا يعني جمع المال، واستخدام آلة ناسخة للحصول على نسخ من من مطبوعات مكتوبة بخط اليد على صفحات غير مجلدة، واختيار واستخدام الموسيقيين المناسبين، وتنظيم صالة يمكنهم العزف فيها. وبعد كل ذلك، قد تكون المرة الأولى التي يسمع فيها مؤلفه. لا سمح الله قد لا يحب عمله على النحو الذي كان عليه، حيث قد يصرف الموسيقيين، ويقضى أيامًا في إعادة كتابة العلامات المعدلة باليد، ويجمع المزيد من المال، ويعيد استخدام الموسيقيين، وجمعهم من جديد. في الوقت الراهن يمكن للموسيقية سماع عملها متعدد الآلات على جهاز كيرزويل أو أي جهاز تركيب آخر، وإجراء تغييرات بسهولة ما نفعله لحرف على معالج كلمات، وسماع النتائج على الفور.

قمت ببيع نظم موسيقى كيرزويل إلى شركة كورية، يونج شانج، أكبر صانع بيانو في العالم، في ١٩٩٠. وتظل نظم موسيقى كيرزويل أحد العلامات التجارية الرائدة في الآلات الموسيقية الإلكترونية في العالم ويتم بيعها في خمس وأربعين بلدًا.

بدأتُ أيضًا الذكاء التطبيقي لكيرزويل في ١٩٨٢ بهدف ابتكار معالج كلمات لتشغيل الصوت. وهي تقنية متعطشة لملايين التعليمات في الثانية MIPs (أي سرعة الكمبيوتر) وميجابايت (أي ذاكرة)، لذلك فإن النظم المبكرة حدت من حجم مفردات اللغة التي يمكن للمستخدمين توظيفها. وكانت هذه النظم

المبكرة تتطلب من المستخدمين التوقف لمدة وجيزة بين الكلمات ... لذلك ... يجب ... أن ... تتكلم ... بهذه ... الطريقة. جمعنا بين هذه «الكلمات المتقطعة» لتقنية التعرف على الكلام وقاعدة المعارف الطبية لابتكار نظام يسمح للأطباء بابتكار تقاريرهم الطبية بالحديث ببساطة إلى كمبيوتراتهم. ومنتجنا، الذي أطلق عليه كيرزويل فويسميد Kurzweil VoiceMed (وهو الآن Kurzweil Clinical Reporter)، يرشد الأطباء بالفعل خلال عملية وضع التقارير. وقدمنا أيضًا منتج إملاء متعدد الأغراض يسمى كيرزويل فويس Kurzweil Voice، الذي يسمح للمستخدمين بابتكار وثائق مكتوبة بالتحدث كلمة في كل وقت إلى كمبيوترهم الشخصي. وأصبح هذا المنتج شائعًا بشكل خاص بين الناس الذين يعانون من عجز في استخدام أيديهم.

وهذا العام فقط، تكريمًا لقانون مور، أصبحت الكمبيوترات الشخصية من السرعة الكافية للتعرف الكامل على الكلام المستمر، لذلك في استطاعتي إملاء بقية هذا الكتاب بالتحدث إلى أخر منتج لنا، الذي يطلق عليه فويس إكسبريس بلاس Voice Xpress Plus بسرعة تصل إلى نحو مائة كلمة في الدقيقة. وبالطبع، ليس لديّ مائة كلمة لأكتبها في كل دقيقة حيث إنني أغير رأيي كثيرًا، لكن لا يبدو أن فويس إكسبريس يهتم بذلك.

وقمنا ببيع هذه الشركة أيضًا، إلى ليرنوت وهوسبي (Lernout & Hauspie L&H)، وهي شركة كبيرة لتقنية الكلام واللغة ومركز إدارتها في بلجيكا. وبعد قليل من تملك L&H في ١٩٩٧، نظمنا تحالفًا استراتيجيًّا بين قسم الإملاء في L&H ومايكروسوفت، لذلك فإن تقنيتنا للكلام من المرجح أن يتم استخدامها في منتجات مايكروسوفت في المستقبل.

وL&H رائدة أيضًا في تركيب من النص للكلام وترجمة اللغة آليًّا، لذلك فإن الشركة لديها الآن كل التقنيات الضرورية للهاتف المترجم. وكما ذكرت من قبل، نحن نضع معًا الآن تقنية عرض لنظام سوف يسمح لك بالكلام بالإنجليزية مع شخص على الطرف الآخر يسمعك بالألمانية، والعكس بالعكس. وأخيرًا، سوف تستطيع مكالمة أي شخص في العالم ويتم ترجمة ما تقوله على الفور إلى أي لغة شائعة. بالطبع، فإن قدرتنا على سوء فهم بعضها البعض لن تقل.

وأحد التضمينات الأخرى لتقنيتنا للتعرف على الكلام، وهو أحد أهدافنا الأولى، هو جهاز استماع للأصم، وهو من الناحية الأساسية عكس آلة القراءة

للعميان. بالتعرف على الكلام الطبيعي المستمر في الزمن الحقيقي، ستسمح الآلة للشخص الأصم بأن يقرأ ما يقوله الناس، ومن ثم يتغلب على الإعاقة الرئيسية المصاحبة للصمم.

في ١٩٩٦، أسست شركة جديدة لتقنية القراءة هي النظم التعليمية لكيرزويل، التي طورت جيلًا جديدًا من برمجيات من الطباعة إلى قراءة الكلام للأشخاص المبصرين الذين يعانون من إعاقات في القراءة، بالإضافة إلى آلة قراءة جديدة للعميان. وأطلق على النوع المخصص للإعاقات في القراءة كيرزويل ٣٠٠٠، الذي يمسح وثيقة مطبوعة، ويعرض الصفحة كما تبدو فقط في الوثيقة الأصلية (مثلًا، كتاب، مجلة)، مع كل المادة التصويرية والصور كاملة. ثم يقرأ الوثيقة بصوت مرتفع بينما يبرز صورة المادة المطبوعة كما تمت قراءتها. إنه يفعل أساسًا ما يفعله مدرس يقرأ ـــ يقرأ لتلميذ بينما يوضح بالضبط ما تتم قراءته.

وكانت التطبيقات لفوائد التكنولوجيا للأشخاص المعاقين هي التي قادتني إلى أكبر مصدر للرضى. هناك تناسق تصادفي بين قدرات الكمبيوترات المعاصرة واحتياجات الأشخاص المعاقين. لا نبتكر عباقرة سبرانيين في الوقت الحاضر ـــ ليس بعد. فذكاء كمبيوتراتنا الذكية الراهنة محدود، يمكنه إتاحة حلول فعالة للإعاقات المحدودة لدى أغلب الأشخاص المعاقين. ويعمل الذكاء المقيد للآلة بشكل فعّال مع الذكاء الواسع المرن للأشخاص المعاقين. والتغلب على العاهات المصاحبة للإعاقات باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي كان أحد أهدافي الشخصية منذ زمن طويل. بالنسبة للإعاقات الرئيسية البدنية والحسية، أعتقد أنه في نحو عقدين سوف نصل إلى الإعلان عن نهاية فعّالة للإعاقات. وباعتبارها مضخمات للتفكير البشري، لدى الكمبيوترات إمكانية كبيرة لمساندة التعبير الإنساني وتوسعة القدرة على الإبداع لدينا جميعًا. ولديّ أمل في الاستمرار في القيام بدور في توجيه هذه الإمكانية.

تطلبت كل هذه المشروعات تكريس مواهب الكثير من الأفراد متقدي الذكاء في نطاق واسع من المجالات. ومن المثير للاهتمام دائمًا رؤية ـــ أو سماع ـــ منتج جديد، ورؤية تأثيره على حياة مستخدميه. وكانت هناك مشاركة في بهجة العملية الإبداعية، وثمراتها، بين الكثير من هؤلاء الرجال والنساء البارزين.

**الذي حدث:** ظهر نظام تعرف على الكلام غير مستقل عن مكبر الصوت، فعَّال، وقادر على التعامل مع الكلام المستمر وكمية كبيرة من مفردات اللغة. وترجمة اللغة، التي تترجم بسرعة مواقع شبكة المعلومات من لغة إلى أخرى، متوافرة مباشرة من آلية الاستعراض على شبكة المعلومات. تركيب من النص إلى الكلام لتشكيلة واسعة من اللغات متوافر منذ سنوات كثيرة. وكل هذه التقنيات تعمل على الكمبيوترات الشخصية. في ليرنو وهوسبي Lernout & Hauspie (التي امتلكت شركتي للتعرف على الكلام، كيرزويل للذكاء التطبيقي، في ١٩٩٧)، جمعنا تقنية عرض هاتف ترجمة. ونتوقع أن هذا النظام سيكون متوافرًا بشكل تجاري مبكرًا في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين.[١٧]

## تحدي الحركة الجديدة لمحطمي الماكينات

أولًا دعنا نفترض أن علماء الكمبيوتر نجحوا في تطوير آلات ذكية يمكنها أن تقوم بكل الأشياء على نحو أفضل مما يمكن للكائنات البشرية أن تقوم به. في هذه الحالة من المفترض أن كل العمل ستقوم به نظم ضخمة ومنظمة إلى حد بعيد من الآلات ولن يكون الجهد البشري ضروريًا و«أحد» الأمرين يمكن أن يحدث. قد يتم السماح للآلات باتخاذ كل قراراتها الخاصة بدون إشراف بشري، أو أن يتم استبقاء بشر آخرين يتحكمون في الآلات.

إذا أتيحت الفرصة للآلات لتتخذ كل قراراتها الخاصة، لا يمكننا تخمين ما ستكون عليه النتائج، لكن من المستحيل تخمين كيف ستتصرف مثل هذه الآلات. نحن نوضح فقط أن مصير الجنس البشري قد يصبح تحت رحمة الآلات. قد يُقال إن الجنس البشري لن يكون من الغباء حتى يسلم كل السلطة للآلات. لكننا نشير إلى أنه لا الجنس البشري سيسلم السلطة إراديًا إلى الآلات ولا الآلات سوف تستحوذ على السلطة عمدًا. وما نشير إليه أن الجنس البشري قد يسمح لنفسه بسهولة بالانسياق إلى موقع يكون فيه معتمدًا إلى حد بعيد على الآلات حتى إنه لن يكون أمامه بديل عملي سوى قبول كل قرارات الآلات. وكلما أصبح المجتمع والمشاكل التي تواجهه أكثر فأكثر تعقيدًا وأصبحت الآلات أكثر وأكثر ذكاء، سوف يترك الناس الآلات تتخذ المزيد من القرارات لهم، ببساطة لأن القرارات

المعتمدة على الآلات سوف تعطي نتائج أفضل من تلك المعتمدة على الإنسان. وعاقبة ذلك قد يتم الوصول إلى مرحلة تكون خلالها القرارات الضرورية للمحافظة على عمل النظام على درجة كبيرة من التعقيد بحيث ستكون الكائنات البشرية عاجزة عن اتخاذ هذه القرارات بشكل ذكي. وفي تلك المرحلة ستكون الآلات مسيطرة بشكل فعّال. ولن يكون في استطاعة البشر مجرد إيقاف الآلات، لأنهم سيكونون معتمدين عليها إلى الحد الذي يجعل إيقافها يعادل الانتحار.

من جانب آخر من المحتمل أن سيطرة البشر على الآلات قد تستمر. وفي هذه الحالة قد يتحكم الرجل العادي في آلات خاصة معينة لديه، مثل السيارة أو الكمبيوتر الشخصي، لكن التحكم في النظم الكبيرة للآلات ستكون في أيدي نخبة صغيرة جدًّا ـــ تمامًا مثل ما هو عليه الأمر حاليًّا، ولكن مع وجود اختلافين. بسبب التقنيات المتقدمة سوف يكون لدى النخبة سيطرة كبيرة على جموع الناس، ولأن العمل الإنساني لن تصبح له نفس الضرورة سيصبح جموع الناس زائدين عن الضرورة، عبء عديم الفائدة على النظام. إذا كانت النخبة قاسية قد يقررون ببساطة إبادة الكتلة البشرية.

وإذا كانوا إنسانيين قد يستخدمون الدعاية أو تقنيات أخرى نفسية أو بيولوجية لخفض معدل المواليد حتى تصبح الكتلة البشرية منقرضة، تاركة العالم للنخبة. أو، إذا كانت النخبة تتكون من ليبراليين ذوي قلوب رقيقة، قد يقررون لعب دور الرعاة الطيبين لبقية الجنس البشري. سينظرون إلى ذلك باعتبار أن الاحتياجات الجسدية لكل شخص تم إشباعها، وأن كل الأطفال تتم تربيتهم في ظروف نفسية صحية، وأن كل شخص لديه هواية نافعة للصحة لتبقيه مشغولاً، وأن كل شخص قد يصبح غير راض يُجرى له «علاج» لشفائه من «مشكلته.» بالطبع ستصبح الحياة على درجة كبيرة من انعدام الهدف حتى إن الناس سيكون من الواجب هندستهم بيولوجيًّا أو نفسيًّا إما للتخلص من احتياجهم إلى عملية السلطة أو يتم «تحويل» دافعهم إلى السلطة إلى نوع من الهوايات غير المؤذية. وقد تكون هذه الكائنات البشرية المهندَسة سعيدة في مثل هذا المجتمع، لكنهم في الغالب

بالتأكيد لن يكونوا أحرارًا. سيكون قد تم تقليصهم إلى حالة الحيوانات الأليفة.

تيودور كازينسكي Theodore Kaczynski

كان نساجو نوتنجهام يتمتعون بمعيشة متواضعة لكنها مريحة من صناعتهم المزدهرة في الأكواخ حيث ينتجون الجوارب والتطريز المخرم. استمر ذلك مئات السنين، حيث كانت أعمالهم العائلية المستقرة تنتقل من جيل إلى جيل. ولكن مع اختراع نول الحياكة الآلي وآلات النسيج الأخرى الآلية في بداية القرن الثامن عشر، وصل معاش النساجين إلى نهاية مفاجئة. انتقلت القوة الاقتصادية من عائلات النسيج إلى ملاك الآلات.

وفي هذا الاضطراب جاء شاب وصبي أحمق اسمه نيد لود Ned Ludd، تلك هي الأسطورة، وحطم آلات مصنعي نسيج مصادفة نتيجة غباء صرف. ومنذ ذلك الحين، كلما وُجدت معدات مصنع وقد تم تدميرها بشكل غامض، قد يقول أي شخص يُشتبه في أنه وراء هذا الغدر باستخدام العنف، «لكن نيد لود فعل ذلك.»

في ١٨١٢، شكَّل النساجون اليائسون جمعية سرية، جيش عصابات مدني. وأعدوا تهديدات ومطالب من ملاك المصنع، وكان الكثير منهم يذعنون. وعندما كانوا يُسألون عن زعيمهم، كانوا يردون، «عجيب، الجنرال نيد لود طبعًا.» ورغم أن محطمي الماكينات (اللوديون Luddites)، كما أصبحوا معروفين، وجهوا أغلب عنفهم في البداية ضد الآلات، انطلقت سلسلة من الاشتباكات الدامية فيما بعد في ذلك العام. وانتهى تساهل حكومة توري Tory مع محطمي الآلات، وتشتت الحركة بسجن وشنق الأعضاء البارزين.[١٨]

قدرة الآلات على أن تحل محل العمالة البشرية لم تكن مسألة فكرية بالنسبة لمحطمي الآلات. لقد شاهدوا أسلوب حياتهم ينقلب رأسًا على عقب. ونادرًا ما كان النساجون غير منزعجين من ظهور عمالة جديدة تدر أرباحًا أعلى في مجال تصميم، وتصنيع، وتسويق الآلات الجديدة. ولم تكن هناك برامج حكومية لإعادة تدريب النساجين ليصبحوا مصممي أوتوماتية.

ورغم فشلهم في تكوين حركة دائمة وقادرة على التطور، ظل محطمو الآلات رمزًا قويًا مع استمرار الآلات في الحلول محل العمال البشر. وأحد الأمثلة الكثيرة على تأثير الأوتوماتية على العمالة، أن نحو ثلث التعداد السكاني في الولايات المتحدة كان مشاركًا في إنتاج المنتجات الزراعية في بداية القرن التاسع عشر. والآن تصل هذه النسبة إلى ٣ بالمائة.[١٩] ولعله لم يكن من المريح إلى حد ما بالنسبة للمزارعين منذ مائة عام مضت

إظهار أن فقدهم للأعمال قد تعوضه في نهاية الأمر أعمال جديدة في الصناعة الإلكترونية في المستقبل، أو أن سلالاتهم ستصبح مصممي برمجيات في وادي السليكون.

حقيقة فقد العمل تكون غالبًا إجبارية أكثر من كونها توقع غير مباشر بأعمال جديدة تنشأ عن تقنيات جديدة آتية. وعندما بدأت وكالات الإعلانات في استخدام أجهزة التركيب لكيرزويل لابتكار مسالك صوتية عبر الشرائط المغناطيسية للتليفزيونات التجارية وليس بالأحرى استئجار موسيقيين أحياء، لم يكن اتحاد الموسيقيين سعيدًا بذلك. أوضحنا أن تقنية موسيقى الكمبيوتر الجديدة كانت مفيدة بالفعل للموسيقيين لأنها تجعل الموسيقى أكثر إثارة. على سبيل المثال، الأفلام الاصطناعية التي كانت تستخدم سابقًا موسيقى أوركسترالية سابقة التسجيل (لأن الميزانية المحدودة لهذه الأفلام لم تكن تسمح باستئجار أوركسترا كاملة) أصبحت حينئذ تستخدم موسيقى مبتكرة من إبداع أحد الموسيقيين مع جهاز التركيب. وكما اتضح، فإن هذا الخلاف لم يكن فعالًا تمامًا، حيث إن عازفي جهاز التركيب لم يكونوا يرغبون أن يصبحوا أعضاءً في الاتحاد.

وتظل فلسفة محطمي الآلات مفعمة بالحيوية إلى حد بعيد باعتبارها نزعة أيديولوجية، لكن باعتبارها حركة سياسية واقتصادية تظل فقط تحت سطح المجادلة المعاصرة. ويبدو أن الجمهور يدرك أن ابتكار تقنية جديدة يحفز التوسع لصالح الاقتصاد. وتُظهر الإحصاءات بوضوح تام أن الأوتوماتية تخلق أعمالًا أفضل وأكثر من منعها. في ١٨٧٠، كان لدى ١٢ مليون أمريكي فقط، وهو ما يمثل نحو ثلث السكان المدنيين، أعمال. ومع ١٩٩٨، ارتفع الرقم إلى ١٢٦ مليون وظيفة يعمل فيها نحو ثلثي السكان المدنيين.[٢٠] الناتج القومي الكلي على أساس كل نسمة من السكان وعلى الأساس الثابت للدولار في ١٩٥٨ ارتفع من ٥٣٠ دولار في ١٨٧٠ إلى عشرة أمثاله على الأقل في الوقت الحالي.[٢١] كان هناك تغير مماثل في القدرة الفعلية على تحقيق الأرباح من الوظائف المتاحة. وهذا الارتفاع ١٠٠٠ بالمائة في الثروة الحقيقية نتج عن التطور الكبير في مستوى الحياة، والرعاية الصحية الأفضل والتعليم، والقدرة المتطورة بقدر كبير على تقديمها لمن يحتاجون المساعدة في مجتمعنا. في بداية الثورة الصناعية كان متوسط العمر في أمريكا الشمالية وشمال غرب أوروبا نحو سبعة وثلاثين عامًا. والآن، بعد قرنين، تضاعف، وهو مستمر في الارتفاع.

والوظائف الناتجة كانت أيضًا على مستوى أعلى. حقًا، الكثير من العمالة الإضافية كانت في مجال تقديم التعليم الأكثر كثافة الذي تتطلبه الوظائف في الوقت الراهن. على سبيل المثال، ننفق الآن عشرة أضعاف (بالسعر الثابت للدولار) على أساس كل نسمة من

السكان للتعليم في المدارس العامة مقارنة بما كنا ننفقه منذ قرن مضى. في ١٨٧٠ فقط كان لدى ٢ بالمائة فقط من الأمريكيين البالغين دبلوم مدرسة ثانوية، بينما يتخطى الرقم ٨٠ بالمائة اليوم. كان هناك فقط ٥٢ ألف طالب جامعي في ١٨٧٠، والآن هناك ١٥ مليونًا.

العملية الأوتوماتية التي بدأت في إنجلترا منذ مائتي عام مضت — واستمرت حاليًّا بخطوات متسارعة لم تحدث من قبل (وفقًا لقانون العائدات المتسارعة) — استبعدت وظائف في قاع سلم المهارات وخلقت وظائف جديدة على قمة سلم المهارات. من أجل ذلك كانت زيادة الاستثمار في التعليم. لكن ما الذي يحدث عندما يتوسع سلم المهارات وراء قدرات كتلة مجموع السكان البشر، وأخيرًا وراء قدرة أي إنسان، وراء التجديدات التعليمية على الرغم من ذلك؟

الإجابة التي يمكن أن نتنبأ بها من قانون العائدات المتسارعة هي أن السلم سيستمر مع ذلك ليصل إلى ارتفاع غير مسبوق، وهذا يتضمن أن البشر سيحتاجون لأن يصبحوا أكثر قدرة بوسائل أخرى. التعليم يمكنه منفردًا أن ينجز الكثير. الطريقة الوحيدة التي يمكن للجنس البشري من خلالها مواصلة السير ستكون بالنسبة للبشر أن يحصلوا على كفاءة أكبر من تقنية الحوسبة التي ابتكرناها، أي أن يندمج الجنس البشري في تقنيته.

ولن يعتبر كل شخص أن هذا الاحتمال جذاب، لذلك فإن قضية محطمي الآلات سوف تتسع في القرن الحادي والعشرين من مصدر قلق حول وسيلة عيش البشر إلى قضية تتعلق بالطبيعة الجوهرية للكائنات البشرية. ومع ذلك، ليس من المرجح أن يتم تدبر أمر حركة محطمي الآلات بشكل أفضل في القرن المقبل أكثر مما حدث معها في القرنين الماضيين. فهي تعاني من نقص في الأجندة البديلة القابلة للتطور.

تيد كازينسكي، الذي اقتبست سابقًا من عمل له معروف باسم «بيان بدون قاذف قنابل» بعنوان «المجتمع الاصطناعي ومستقبلة»، يدافع عن عودة بسيطة إلى الطبيعة.[٢٢] لا يتكلم كازينسكي عن زيارة تأملية لفالدين بوند Valden Pond من القرن التاسع عشر، ولكن حول الجنس البشري الذي يترك كل تقنياته ويعود إلى العصر الأكثر بساطة. ورغم أنه أورد حالة جبرية حول المخاطر والأضرار التي صاحبت التصنيع، فإن تصوره المقترح ليس إجباريًّا وغير قابل للتنفيذ. ورغم كل ذلك، هناك القليل جدًّا من الطبيعة التي يمكن العودة إليها، وهناك الكثير جدًّا من الكائنات البشرية. ومن أجل ما هو أفضل أو أسوأ، نحن ملتصقين بالتكنولوجيا.

**شاعرك السبراني يكتب بعض الأفكار المثيرة للاهتمام ...**

لقد أثارت اختياراتك اهتمامي.

**حسنًا، بالنظر إلى أول قصائد جديدة في مجموعتك:**

**أنساب عبر الصفحة ...**
**خلالٍ اللبؤة/المستقرة في روحي ...**
**مشكلا جواهر من الثلج المتساقط ...**
**عصارة الأبدية/حيوية شفتيّ ...**

**لكن القصائد لا تحتوي دائمًا على تسلسل كامل للأفكار، إذا كنت تدرك ما أعنيه.**

نعم، يتسامح القراء بعض الشيء مع الشعر أكثر من تسامحهم مع النثر. المشكلة الرئيسية هي عجز الفنانين السبرانيين المعاصرين عن السيطرة على مستويات السياق الذي يستطيع الفنانون البشر القيام به. ليس ذلك عيبًا دائمًا، بالطبع. وأخيرًا، سنكون مَن لديهم صعوبة في المحافظة على عمق السياق وهو ما يستطيع فعله ذكاء الكمبيوتر.

**بدون بعض المساعدة.**

من توسعات الكمبيوتر لذكائنا، نعم، بالضبط.

في الوقت الحالي، الشاعر السبراني ممتاز في كونه مساعدًا ملهِمًا. وبينما قصائده ليست كلها مما يمكن التعمق فيها، فإن لها بعض القوة الحقيقية في الوصول إلى تنويعات فريدة في طريقة التعبير. لذلك فإن للبرنامج أسلوبًا يطلق عليه مساعد الشاعر. تكتب المستخدمة البشرية قصيدة في نافذة معالج كلمات. ويراقب مساعد الشاعر كتابتها ويملأ بقية الشاشة باقتراحات، مثل «ها هو ما يمكن لروبرت فروست أن يفعله لينهي هذا البيت من الشعر»، أو «ها هي مجموعة من الإيقاعات و/أو البدائل التي استخدمها كيتس مع هذه الكلمة»، أو «هكذا يمكن لإميلي دكنسون أن تنهي هذه القصيدة» ... إلخ. وإذا حصل على قصائد المؤلف البشري الخاصة، يمكنه حتى اقتراح كيف يمكن للمستخدمة نفسها أن تنهي بيت شعر أو قصيدة. وكلما كتبت كلمة أخرى، تحصلين على عشرات من الأفكار. ليست كلها لها معنى، لكنه حل جيد لدعم الكاتبة. ومرحبًا بك في سرقة أفكار الجهاز.

**الآن، بالنسبة لصور كوهين ...**

تعنين صور هارون ...

**أوه، أظن أنني لست حساسة تجاه مشاعر هارون.**

حيث إنه ليس لديه أية مشاعر.

**ليس بعد، أليس كذلك؟ لكن ما كنت مقدمة على قوله هو أن صور هارون تبدو محافظة على سياقها. كل الأمر هو نوع من العمل بالنسبة لي.**

نعم، ربما يكون هارون الخاص بكوهين هو أفضل مثال على الفنان البصري السبراني في الوقت الحالي، وبالتأكيد هو واحد من الأمثلة الأولى للكمبيوتر في مجال الفنون. لقد برمج كوهين آلافًا من القواعد حول كل جوانب الرسم والرسم الفني، من الطبيعة الفنية لرسم الناس، والنباتات، والأشياء إلى التشكيل واختيار اللون.

فكري في أن هارون لا يبحث عن تقليد الفنانين الآخرين. فلديه مجموعة أساليبه الخاصة، لذلك من الممكن لقاعدة معرفته أن تكون كاملة نسبيًّا في مجاله البصري. وبالطبع، فإن الفنانين البشر، حتى البارزين منهم، لديهم أيضًا حدود لمجالهم. وهارون جدير بالاحترام تمامًا في تنوع فنه.

**حسنًا، لمجرد الانتقال إلى آخر أقل جدارة بالاحترام، لقد اقتبست من تيد كازينسكي وهو يتكلم عن أن الجنس البشري قد ينجرف إلى الاعتماد على الآلات، عندئذ لن يكون لدينا خيار سوى قبول كل قرارات الآلة. ما الذي تعتمد عليه فيما قلت حول تضمينات توقف كل الكمبيوترات، ألسنا في هذا الوضع بالفعل؟**

نحن في هذا الوضع بالتأكيد بالنسبة للاعتماد على الآلات، ولم يحدث هذا بعد بالنسبة لمستوى ذكاء الآلة.

**هذا الاقتباس كان مفاجئًا.**

كان محكمًا؟

**نعم، هذه هي الكلمة التي كنت أبحث عنها.**

كل بيان كازينسكي مكتوب بالأحرى بشكل جيد، ليس أبدًا ما يمكنك توقعه مع معرفة الصورة الشائعة عنه بأنه مجنون. باعتباره بروفيسور علوم سياسية كتب جيمس كيو. ويلسون James Q. Wilson من جامعة كاليفورنيا، «اللغة واضحة، دقيقة وهادئة. والنقاش دقيق ومتطور باعتناء، ولا ينقص أي شيء حتى الوهن المشابه للادعاءات الجامحة أو الاستنتاج غير المنطقي التي قد تصدر عن مجنون.» وجمع أنصارًا بالفعل من بين الفوضويين والمعادين للتقنيين على الإنترنت

**وهو القمة في التكنولوجيا.**

نعم، الأمر لم تنقصه السخرية.

**لكن لماذا الاقتباس من كازينسكي؟ أعني، ...**

حسنًا، بيانه مقنع مثل عرض عن العزلة النفسية، والإزاحة الاجتماعية، والضرر البيئي، والأضرار الأخرى ومخاطر العصر التقني مثل أي ... أخرى ...

**ليست هذه وجهة نظري. أشك في أن محطمي الآلات سعداء بالحصول عليه كرمز لأفكارهم. كما لو أنك تشوه سمعتهم باستخدامه باعتباره الناطق بلسانه.**

حسنًا، هذا اعتراض معقول. أظن أنه يمكنني الدفاع عن اقتباسي الواسع باعتباره يعطي مثالًا مهمًّا عن ظاهرة في صميم الموضوع، ألا وهي عنف فكرة تحطيم الآلات. بدأت الحركة بالعنف، والتحدي الذي تضعه الآلات أمام الجنس البشري مهم بما يكفي لأن يكون رد الفعل العنيف في هذا القرن المقبل ذو احتمال كبير.

**لكن استخدامك للاقتباس يبدو أكثر من مجرد مثال عن ظاهرة إضافية ما.**

حسنًا، لقد فوجئت بمدى موافقتي على بيان كازينسكي.

**مثل أن ...**

أوه، هكذا أنت مهتمة الآن.

**كان نوعًا من إثارة الاهتمام، وملائم للأشياء الأخرى التي كنت تقولها لي.**

نعم، أظن ذلك. يصف كازينسكي فوائد التكنولوجيا بالإضافة إلى تكاليفها ومخاطرها. عندئذ يصل إلى هذه الفكرة:

> سبب آخر حول أن المجتمع الاصطناعي لا يمكن إصلاحه لمصلحة الحرية هو أن التكنولوجيا الحديثة هي نظام مدمَج حيث كل الأجزاء يعتمد بعضها على بعض. لا يمكنك التخلص من الأجزاء «السيئة» في التكنولوجيا والمحافظة فقط على الأجزاء «الصالحة.» خذ الطب الحديث، على سبيل المثال، يعتمد التقدم في العلم الطبي على التقدم في الكيمياء، والفيزياء، والبيولوجيا، وعلم الكمبيوتر، والمجالات الأخرى. العلاجات الطبية المتطورة تحتاج إلى أجهزة عالية التكاليف وذات تقنية عالية يمكن توفيرها فقط بواسطة تقدم تقني، ومجتمع ثري اقتصاديًّا. من الواضح أنه لا يمكن إحراز تقدم كبير في الطب بدون النظام التقني الكامل وكل ما يرتبط به.

الأمور تسير حتى الآن سيرًا حسنًا. ثم يصل إلى الحكم الأساسي بأن «الأجزاء السيئة» تتجاوز قيمة «الأشياء الصالحة.» ليس باعتبار أن ذلك وضع غير معقول، أيضًا، ولكن مع ذلك، وهنا نفترق عنه. والآن ليس رأيي أن تقدم التكنولوجيا مفيد تلقائيًّا. من الجائز أن البشرية سوف تندم في النهاية على مسارها التقني. ورغم أن المخاطر حقيقية بالفعل، اعتقادي الأساسي هو أن الأرباح المحتملة تستحق المغامرة. لكن ذلك مجرد اعتقاد، وليس وضع يمكنني تأكيده بسهولة.

**لقد أثار اهتمامي رأيك حول الأرباح.**

الأرباح المادية واضحة: تقدم اقتصادي، تشكيل المصادر المادية لتستجيب للاحتياجات القائمة منذ زمن بعيد، التوسع في متوسط أعمارنا، التطورات في الصحة، ... إلخ. ومع ذلك، ليس هذا بالفعل رأيي الأولي.

أرى الفرصة لتوسيع أمخاخنا، وتوسيع تعلمنا، وتطوير قدرتنا على ابتكار وفهم المعرفة باعتبارها عملية بحث روحية من الجانب الأساسي. وتحدث فينبوم Feigenbaum ومككورداك McCorduck حول ذلك باعتباره «متغطرسًا، نوع يمكن القول من التهور، رسو في الأرض المقدسة.»

**هل معنى ذلك أننا نخاطر ببقاء الجنس البشري من أجل عملية البحث الروحية هذه؟**

نعم، هذا جوهر الأمر.

**لن يفاجئني لو أن محطمي الآلات توقفوا مؤقتًا.**

بالطبع، تذكري أنها المادة، وليست الأرباح الروحية، هي التي تغري المجتمع للسير في هذا المسار.

**لا أزال غير مستريحة مع كازينسكي باعتباره المتحدث باسمهم. إنه قاتل اعترف بجريمته، أنت تعرف ذلك.**

بالتأكيد، أنا سعيد بأنه وراء القضبان، وتكتيكاته تستحق الإدانة والعقاب. ولسوء الحظ، الإرهاب فعّال، وهذا هو سبب بقاءه.

**لا أرى الأمر بهذه الطريقة. الإرهاب يقوض فقط المواقع التي يُعلن عنها. فيرى الناس حينئذ عروض الإرهابي باعتبارها غير معقولة أو على الأقل مضللة.**

هذا أحد ردود الأفعال. لكن تذكري مجتمع العقل. لدينا أكثر من رد فعل واحد تجاه الإرهاب.

أحد الاحتمالات في عقلنا يقول «تلك الأفعال شريرة ومجنونة، لذلك فإن دعوى الإرهابي يجب أن تكون أيضًا شريرة ومجنونة.»

لكن احتمالًا آخر في عقلنا يأخذ وجهة نظر أن «هذه الأفعال متطرفة، لذلك لا بد أن لديه مشاعر قوية تجاهها. ربما يكون هناك شيء يخصها. ربما هناك نوع أكثر اعتدالًا في آرائه، نوع معقول.»

**يبدو الأمر مثل علم نفس هتلر حول «الكذبة الكبيرة.»**

هناك تشابه. في حالة هتلر، كان كل من التكتيكات والآراء متطرفة. في حالة الإرهابيين المعاصرين، التكتيكات متطرفة، والآراء قد لا تكون كذلك. في حالة كازينسكي، الكثير من جوانب جدله معقول. بالطبع، انتهى به الأمر إلى مكان متطرف.

**نعم، عشة بدائية في مونتانا.**

هذا هو ما انتهى إليه البيان ـــ علينا جميعًا أن نعود إلى الطبيعة.

**لا أظن أن الناس وجدوا تصور كازينسكي عن الطبيعة شديد الجاذبية، على الأقل لا يبتون في الموضوع من صور عشته.**

وكما قلت، ليس هناك ما يكفي من الطبيعة للتجول فيها بعد الآن.

**شكرًا للتكنولوجيا.**

والطفرة السكانية

**أصبحت ميسرة أيضًا بواسطة التكنولوجيا.**

لذلك فإننا قد تجاوزنا نقطة اللاعودة. لقد تأخر الأمر كثيرًا بالفعل للسير في طريق الطبيعة.

**إذن ما هو المسلك الذي توصي به؟**

قد أقول بأننا يجب ألا نرى تقدم التكنولوجيا باعتباره مجرد قوة مجهولة عديمة الشفقة.

**ظننت أنك قلت أن التقدم التقني المتسارع ـــ والحوسبة ـــ كان عديم الشفقة، هل تتذكر، قانون العائدات المتسارعة؟**

أوه، نعم، التقدم عديم الشفقة صحيح، لسنا مقدمين على إيقاف التكنولوجيا. لكن لدينا بعض الخيارات. لدينا فرصة تشكيل التكنولوجيا، والسيطرة على اتجاهها. لقد حاولت أن أفعل ذلك في عملي الخاص. يمكننا السير في الغابة باحتراس.

**من الأفضل أن ننشط، يبدو كما لو أن هناك الكثير من المنحدرات الزلقة في انتظارنا.**

# الجزء الثالث

## لمواجهة المستقبل

INTRODUCING...

# INTERACTIVEWEAR.

All is A-OK with your model # 7321-B Interactivewear Jacket.

I am tied too loosely. Please tighten.

Collar button missing. Soup stain on right side. Dry clean only.

WALLET GONE! WALLET GONE!

Curb approaching at twelve o'clock.

الفصل التاسع

# ٢٠٠٩

مازلت أتذكر على الدوام، تمنيت لو أننى كنت محظوظًا بما يكفي لأكون حيًّا في زمن عظيم — عندما كان يحدث شيء ضخم، مثل الصلب. وفجأة أدركت أنني كنت هناك.

بين شان Ben Shahn

كما نقول في أعمال الكمبيوتر، «تحدث إزاحة.»

تيم روميرو Tim Romero

يُقال إن الناس يبالغون في تقدير ما يمكن أن يكون قد تم إنجازه في هذا المدى القصير، ويقللون من قيمة التغيرات التي ستحدث على المدى البعيد. مع خطوات التغير التي تواصل التسارع، يمكننا حتى اعتبار أن العقد الأول من القرن الحادي والعشرين سيتضمن وجهة نظر عن المدى البعيد. ومع وضع ذلك في اعتبارنا، دعنا نفكر مليًّا في بداية القرن المقبل.

## الكمبيوتر نفسه

نحن الآن في ٢٠٠٩. يستخدم الأفراد على الأخص الكمبيوترات المحمولة، التي أصبحت أكثر خفة ونحافة بصورة غريبة من كمبيوترات المفكرات منذ عشرة سنوات مضت. والكمبيوترات الشخصية متاحة بأصناف كثيرة متنوعة الأحجام والأشكال، وعادة تكون مغروسة في الملابس أو المجوهرات مثل ساعات اليد، والخواتم والأقراط، وأدوات زينة

الجسم الأخرى. وتتراوح الكمبيوترات عالية الوضوح بالنسبة للتداخل البصري ما بين الخواتم والدبابيس وبطاقات الائتمان وحجم كتاب نحيف.

وكما هو المعهود يكون لدى الناس على الأقل نحو عشرة كمبيوترات على وحول أجسامهم، تكون على هيئة شبكة تستخدم «لان LANs الجسم» (شبكات المنطقة المحلية).[١] وتتيح هذه الكمبيوترات تسهيلات الاتصال مثل الهواتف الخلوية، وأجهزة النداء الآلي، وتجهيزات تخزين المعلومات على شبكة المعلومات العالمية (ويب web)، ومراقب وظائف الجسم، يتيح التعرف الآلي على الهوية (لإجراء التداولات المالية والسماح بالدخول إلى مناطق آمنة)، وتوفر الاتجاهات للملاحة، وتشكيلة من الخدمات الأخرى.

وعمومًا، ليس لهذه الكمبيوترات الشخصية في الحقيقة أية أجزاء متحركة. الذاكرة إلكترونية بالكامل، وأغلب الكمبيوترات المحمولة ليس لها لوحة مفاتيح.

الذاكرة الدوارة (أي ذاكرة الكمبيوتر التي تستخدم أسطوانة دوارة مثل مشغلات الأقراص الصلبة، وأقراص ذاكرة القراءة فقط CD-ROMs، وأقراص الفيديو الرقمية DVD في طريقها للظهور، رغم أن الذاكرة المغناطيسية الدوارة لا تزال تُستعمل في «برنامج التحكم في مخزن معلومات server» الكمبيوترات حيث تكون هناك كمية ضخمة من المعلومات المختزَنة. وأغلب المستعملين للكمبيوتر لديهم هذه البرامج في بيوتهم ومكاتبهم حيث يحتفظون بمخازن ضخمة من «الأشياء» الرقمية مثل البرمجيات، وقواعد البيانات، والوثائق، والموسيقى، والأفلام السينمائية، وبيئات الواقع الافتراضي (رغم أنها لا تزال في مرحلتها المبكرة). وهناك خدمات تحتفظ بالأشياء الرقمية الخاصة بشخص ما في مخازن مركزية، لكن أغلب الناس يفضلون أن يحتفظوا بالمعلومات الخاصة بهم تحت سيطرتهم الخاصة الملموسة.

تختفي الكبلات.[٢] وتُستخدم التكنولوجيا اللاسلكية قصيرة المدى للاتصال بين المكونات، مثل أجهزة التوجيه، والميكروفونات، وأجهزة العرض، والطابعات، ولوحة المفاتيح المعدة للاستخدام عند الحاجة.

وتتضمن الكمبيوترات عادة تقنية الاتصال بشبكة على نطاق عالمي موجودة في كل وقت، تسمح باتصال جدير بالثقة، متاح على الفور، ذي نطاق عرض ترددات بالغ الارتفاع. وبسرعة يتم توزيع الأشياء الرقمية مثل الكتب، وألبومات الموسيقى، والأفلام السينمائية، والبرمجيات، باعتبارها ملفات بيانات من خلال الشبكة اللاسلكية، وكما هو المعهود لا يصاحبها أية أشياء مادية.

ويتم تكوين أغلب النص باستخدام برمجيات إملاء تميز الكلام المستمر CSR، لكن لوحة المفاتيح ما زال يتم استخدامها. وأصبحت برمجيات CSR بالغة الدقة، أكثر دقة في هذا المجال من الناسخات البشرية التي ظلت تُستخدم حتى بضع سنوات مضت.

وموجودة أيضًا في كل مكان وفي جميع الأوقات أجهزة تداخل مستخدم اللغة LUIs، التي تجمع بين برمجيات CSR وفهم اللغة الطبيعية. وللأمور العادية، مثل التعاملات البسيطة في مجال الأعمال والاستعلامات حول المعلومات، تعتبر LUIs سريعة الاستجابة جدًّا ودقيقة. ومع ذلك، يبدو أن التركيز عليها قليل جدًّا، وعلى أنواع محددة من المهام. ويتم الجمع مرارًا بين LUIs وشخصيات الصور المتحركة. والتفاعل مع شخصية بالصور المتحركة في عملية شراء أو إجراء حجز يشبه التحدث مع شخص باستخدام مؤتمرات الفيديو، باستثناء أن الشخص تمت محاكاته.

لعروض الكمبيوتر كل سمات العرض على الورق ــ الوضوح العالي، والتباين العالي، وزاوية الرؤية الواسعة، وبدون اهتزازات. ويمكن الآن قراءة الكتب، والمجلات، والصحف بشكل عادي من خلال عروض بحجم الكتب الصغيرة وبشكل مناسب.

وعروض الكمبيوتر المدمجة في النظارات يتم استخدامها أيضًا. وتسمح هذه النظارات المتخصصة لمستخدميها برؤية البيئة البصرية العادية، بينما تولِّد صورة افتراضية تظهر وهي تحوم أمام المشاهد. ويتم تكوين الصور الافتراضية بليزر بالغ الصغر في النظارات التي تعكس الصور مباشرة على شبكيتي عيني من يستخدمها.[٣] وتتضمن الكمبيوترات عادة كاميرات تصوير متحركة وهي قادرة على تحديد هوية مالكيها بشكل يمكن الاعتماد عليه من أوجههم.

وبالنسبة للدوائر الكهربائية، من الشائع استخدام شرائح الأبعاد الثلاثة، ويحدث تحول عن الشرائح القديمة وحيدة الطبقة.

ومكبرات الصوت تحل محلها أجهزة تعتمد على شريحة بالغة الصغر يمكنها إنتاج صوت عالي الوضوح في أي مكان في فضاء الأبعاد الثلاثة. وتعتمد هذه التكنولوجيا على توليد تردد أصوات مسموعة من طيف ناتج عن تفاعل نغمات عالية التردد إلى حد بعيد. والنتيجة، مكبرات أصوات صغيرة جدًّا يمكنها توليد صوت قوي في الأبعاد الثلاثة.

يمكن لكمبيوتر شخصي ثمنه ١٠٠٠ دولار (بأسعار دولارات ١٩٩٩) أن ينجز نحو تريليون عملية حسابية في الثانية.[٤] والكمبيوترات الفائقة تضارع على الأقل قدرة عتاد المخ البشري ــ ٢٠ مليون مليار عملية حسابية في الثانية.[٥] ويتم جني عمليات الحوسبة

غير المستخدمة على الإنترنت، لينتج عنها كمبيوترات فائقة موازية افتراضية بقدرة عتاد المخ البشري.

هناك اهتمام متزايد بالشبكات العصبية كثيفة التوازي، والخوارزميات الجينية، والأنواع الأخرى من الحوسبة التي تستخدم «الشواش» أو نظرية التعقد، رغم أن عمليات الحوسبة في الكمبيوتر لا تزال تتم باستخدام المعالجة المتتالية التقليدية، وبالرغم من أن ذلك يتم ببعض المعالجة المتوازية المحدودة.

وبدأت الأبحاث حول الهندسة العكسية للمخ البشري من خلال المسح الإتلافي لأمخاخ أشخاص متوفين حديثًا بالإضافة إلى المسح غير الإتلافي باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي عالي الوضوح MRI لأشخاص أحياء.

الآلات المستقلة المهندسة على مستوى النانو (أي الآلات التي يتم إنشاؤها ذرة بذرة وجزيء بجزيء) تم عرضها وتتضمن موجهات الحوسبة الخاصة بها. ومع ذلك، لم يتم بعد اعتبار الهندسة النانوية تقنية عملية.

## التعليم

في القرن العشرين، كانت الكمبيوترات في المدارس في الغالب أمرًا جانبيًا، مع تعلم أكثر كفاءة من الكمبيوترات يحدث في البيت. والآن في ٢٠٠٩، بينما المدارس لم تصل بعد إلى أن تكون في الطليعة، يظهر إدراك واسع للأهمية العميقة للكمبيوتر كأداة معرفة. وتلعب الكمبيوترات دورًا أساسيًا في كل جوانب التعليم، كما تفعل في المجالات الأخرى في الحياة.

وأغلب القراءة تتم من خلال العروض، رغم أن «قاعدة التركيب installed base» بالوثائق الورقية ما زالت هائلة. ومع ذلك فإن إنتاج الوثائق الورقية يتضاءل حيث تم بسرعة مسح وتخزين الكتب والأوراق الأخرى لأغلب نخبة القرن العشرين. وتتضمن الوثائق في نحو ٢٠٠٩ بشكل عادي صورًا متحركة وأصواتًا مغروسة.

لدى الطلاب من كل الأعمار كما هو معهود كمبيوتر خاص بكل منهم، وهو عبارة عن جهاز رقيق يشبه اللوح يزن أقل من باوند بعرض بالغ الوضوح مناسب للقراءة. ويتفاعل الطلاب مع كمبيوتراتهم أساسًا بالصوت وبتوجيه بواسطة جهاز يشبه القلم. لا تزال لوحات المفاتيح موجودة، لكن أغلب اللغة النصية يتم إنتاجها بالكلام. مواد التعليم يمكن الوصول إليها من خلال اتصال لاسلكي.

ظهر طقم المناهج التعليمية courseware كوسيلة شائعة للتعلم. وأوضحت دراسات خلافية حديثة أن الطلاب يمكنهم تعلم المهارات الأساسية مثل القراءة والرياضيات بواسطة برمجيات التعليم التفاعلي بنفس سهولة تعليم المدرسين البشر، خاصة عندما تكون نسبة الطلبة إلى المدرسين أكثر من واحد إلى واحد. ورغم أن الطلبة وقعوا تحت ضغط فإن أولياء أمورهم قبلوا هذا المفهوم عدة سنوات. ولا يزال النوع التقليدي من المدرس البشري الذي يعلم مجموعة من الأطفال شائعًا، لكن المدارس تعتمد بشكل متزايد على مقاربات البرمجيات، تاركة المدرسين البشر ليصرفوا همهم من الناحية الأساسية إلى قضايا التشويق، والسعادة النفسية، والتهيئة الاجتماعية. ويتعلم الكثير من الأطفال القراءة باستخدامهم الخاص لكمبيوتراتهم الشخصية قبل دخول المدرسة الابتدائية.

يقرأ أطفال الحضانة والمدرسة الابتدائية بشكل عادي بما يناسب مستواهم العقلي باستخدام برمجيات القراءة من المطبوعات إلى الكلام حتى يلحقوا بمستوى مهارة القراءة. وتعرض نظم القراءة من المطبوعات إلى الكلام هذه صورة كاملة للوثائق، ويمكنها قراءة المطبوعة بصوت مرتفع وتلقي الضوء على ما تتم قراءته. والأصوات الاصطناعية بشرية تمامًا. ورغم أن بعض المعلمين عبروا عن قلق في بداية السنوات التي يتوسطها صفران من أن الطلاب قد يعتمدون بإفراط على برمجيات القراءة، تم قبول هذه النظم بسهولة بواسطة الأطفال وأولياء أمورهم.

وأوضحت الدراسات أن الطلاب يطورون مهاراتهم في القراءة بتعرضهم للعروض البصرية والسمعية المتزامنة للنص.

والتعليم عن بُعد (على سبيل المثال، محاضرات وحلقات بحث عندما يكون المشاركون مبعثرين جغرافيًا) أمر عادي.

ويصبح التعليم جزءًا مهمًا من أغلب الأعمال. ويظهر التدريب وتطوير مهارات جديدة باعتباره مسئولية متطورة في معظم المهن، وليس مجرد إضافة يندر أن تحدث، حيث مستوى المهارة المطلوبة للتوظيف الهادف يحلق دائمًا إلى ما هو أعلى.

## الإعاقات

الأشخاص المعوقون يتغلبون بسرعة على إعاقاتهم من خلال التكنولوجيا الذكية لعام ٢٠٠٩. وبشكل عادي يحسِّن الطلاب، الذين يعانون من إعاقات القراءة، حالاتهم باستخدام نظم القراءة من المطبوعة إلى الكلام.

وآلات القراءة من المطبوعة إلى الكلام من أجل الشخص الأعمى أصبحت الآن صغيرة جدًّا، غير مرتفعة السعر، أجهزة بحجم راحة اليد يمكنها قراءة الكتب (تلك التي لا تزال على هيئة ورق) والوثائق المطبوعة الأخرى، ونصوص العالم الحقيقي الأخرى مثل الإشارات والعروض. ونظم القراءة هذه حاذقة كذلك في قراءة تريليونات الوثائق الإلكترونية المتاحة على الفور من الشبكة العالمية اللاسلكية الموجودة في كل مكان وفي جميع الأوقات.

بعد عقود من المحاولات غير المجدية، ظهرت أجهزة الملاحة المفيدة التي يمكنها مساعدة العميان في تجنب العقبات المادية في مسارهم، وفي شق طريقهم هنا وهناك، باستخدام تقنية نظام تحديد المكان العالمي GPS. ويمكن لسيدة ضريرة أن تتفاعل مع نظمها الشخصية لقراءة الملاحة من خلال اتصال بصوت ذي اتجاهين، وهو نوع يشبه «العين المبصرة» لكلب مدرب لقيادة الشخص الضرير، التي تقرأ وتتكلم.

والأشخاص الصم — أو أي شخص يعاني من إعاقة في السمع — يستخدمون عادة آلات محمولة للسمع من الكلام إلى النص، التي تعرض تسجيلًا في الوقت الحقيقي لما يقوله الناس. ولدى المستخدم الأصم خيار إما قراءة الكلام المسجل باعتباره نصًّا معروضًا، أو مراقبة شخص بالصور المتحركة يؤدي حركات بلغة الإشارة.

وتقضي هذه التجهيزات على إعاقة الاتصال الرئيسية المصاحبة للصمم. ويمكن لآلات الاستماع أن تترجم أيضًا ما يُقال إلى لغة أخرى في الوقت الحقيقي، لذلك فإنها تُستخدم أيضًا بواسطة الناس القادرين على السماع.

ظهرت أجهزة تقويم الاعوجاج التي يتحكم فيها الكمبيوتر. وتسمح «آلات السير» هذه لمن يعانون من الشلل السفلي بالسير وصعود السلالم. وليست أجهزة التبديل قيد الاستعمال في الوقت الحالي بواسطة كل المصابين بالشلل الكلي، حيث يكون لدى الكثير من المعاقين جسديًّا مفاصل مختلة وظيفيًّا بسبب سنوات عدم الاستخدام. ومع ذلك، فإن قدوم نظم تقويم السير يسمح بتحفيز أكبر لمن تم استبدال مفاصلهم هذه.

وهناك إدراك متزايد بأن الإعاقات الأساسية للعمى، والصمم، والعجز الجسدي لا تسبغ العجز بالضرورة على المعاقين. ويصف الأشخاص المعاقين إعاقاتهم عادة باعتبارها مجرد أمور مزعجة. لقد أصبحت التكنولوجيا الذكية وسيلة عظيمة.

## الاتصال

عادة يتم استخدام تقنية الهاتف المترجم (حيث تتكلم بالإنجليزية ويسمعك صديقك الياباني باليابانية، والعكس بالعكس)، لأزواج كثيرة من اللغات. وهي قدرة عادية بالنسبة لكمبيوتر شخصي لأي شخصية، والذي يقوم أيضًا بدور هاتف لها.

اتصال «الهاتف» هو في الأساس لا سلكي، ويتضمن عادة صورًا متحركة عالية الوضوح. والاجتماعات من كل نوع وحجم تحدث عادة بين مشاركين متباعدين جغرافيًا.

وهناك تقارب فعال، على الأقل على مستوى العتاد والبرمجيات المساعدة، بين كل وسائل الإعلام، التي توجد على هيئة أشياء رقمية (أي ملفات) موزعة على شبكة المعلومات العالمية اللاسلكية الموجودة في كل وقت وذات نطاق التردد العالي.

ويمكن على الفور للمستخدمين إنزال الكتب، والمجلات، والصحف، والتليفزيون، والراديو، والأفلام السينمائية، والأنواع الأخرى من البرمجيات إلى أجهزة الاتصال الشخصية المحمولة لديهم.

وبحكم الواقع كل الاتصال رقمي ومصفَر encrypted، بمفاتيح عامة متاحة لمنافذ إلى سلطات الحكومة. والكثير من الأفراد والجماعات، تتضمن المنظمات الإجرامية وليست محصورة عليها، يستخدمون طبقة إضافية من شفرات التصفير دون مفاتيح لطرف ثالث، ولا يمكن في واقع الأمر اختراقها.

وظهرت تقنيات لمسية تسمح للناس بلمس والشعور بالأشياء والأشخاص الآخرين من على بُعد. ويتم استخدام أجهزة التغذية المرتجعة القسرية هذه على نطاق واسع في الألعاب وفي نظم المحاكاة للتدريب.

وتتضمن الألعاب التفاعلية عادة البيئات البصرية والسمعية الشاملة تمامًا، لكن ليس من المتاح بيئة ناقلة للإحساس باللمس شاملة تمامًا مُرضية. وغرف الدردشة التي تعود إلى نهاية العقد الأخير من القرن العشرين حلت محلها بيئات افتراضية حيث يمكنك مقابلة الناس بواقعية بصرية كاملة.

يمارس الناس الجنس من على بُعد مع أشخاص آخرين بالإضافة إلى الشركاء الافتراضيين. لكن نقص البيئة الناقلة للإحساس باللمس «غير المحيطة بجميع الجهات» أدى كثيرًا إلى انزواء الجنس الافتراضي عن الاتجاه السائد.

والرفاق الافتراضيين شائعين على هيئة ترفيه جنسي، لكنهم يشبهون الألعاب أكثر مما يشبهون الواقع. وهاتف الجنس شائع الآن أكثر بكثير حتى إن الهواتف تتضمن عادة صورًا متحركة عالية الوضوح وفي الوقت الحقيقي لشخص على الطرف الآخر.

## الأعمال والاقتصاد

رغم التصحيحات من حين إلى آخر، شهدت السنوات العشر التي مهدت لعام ٢٠٠٩ توسعًا اقتصاديًّا وازدهارًا مستمرين بسبب سيطرة محتوى المعرفة على المنتجات والخدمات. وأكثر الأرباح استمرت في قيمة سوق الأوراق المالية. وأثار انكماش الأسعار قلق الاقتصاديين في بداية السنوات التي يتوسط رقمها صفران، لكنهم أدركوا بسرعة أن ذلك كان أمرًا جيدًا. وأوضح مجتمع التكنولوجيا العالية أن الانكماش الكبير وُجد في صناعات عتاد وبرمجيات الكمبيوتر في كثير من السنوات السابقة بدون ضرر.

تستمر الولايات المتحدة في أن تكون الرائد الاقتصادي بسبب سبقها في مجال الثقافة الشعبية وبيئتها المناسبة للمقاولين. وحيث إن أسواق المعلومات أسواق عالمية إلى حد بعيد، فإن الولايات المتحدة استفادت بشكل كبير من تاريخها المهاجر. ولكونها تتألف من كل شعوب العالم ــ خاصة سلالات الشعوب من حول العالم التي تحملت مجازفة كبيرة من أجل حياة أفضل ــ فهي التراث المثالي للاقتصاد الجديد القائم على المعرفة. وظهرت الصين أيضًا باعتبارها مشاركًا اقتصاديًّا قويًّا. وأوروبا متقدمة عدة سنوات عن اليابان وكوريا في التكيف مع الاهتمام الأمريكي برأس مال المخاطر، وخيارات أسهم العاملين، وسياسات الضرائب التي تشجع أعمال المقاولات، رغم أن هذه الممارسات أصبحت شائعة في كل العالم.

على الأقل نصف الصفقات تُعقد على الخط مباشرة. والمساعدين الأذكياء الذين يجمعون بين أجهزة التمييز الصوتي المستمر وفهم اللغة الطبيعية، وحل المشاكل، وشخصيات الصور المتحركة تساعد عادة في العثور على المعلومات، والإجابة عن الأسئلة، وعقد الصفقات. ولقد أصبح المساعدون الأذكياء وسيطًا أساسيًّا للتفاعل مع الخدمات القائمة على المعلومات، مع نطاق واسع من الخيارات المتاحة. ويوضح استفتاء حديث أن كلًّا من المستخدمين الذكور والإناث يفضلون الشخصيات النسائية للمساعدين

الأذكياء المعتمدين على الكمبيوتر. وأكثر اثنتين شيوعًا هما ماجي Maggie، التي تدعي أنها خادمة ضيافة في مقهى هارفارد سكوير، وميشيل Michelle، متعرية من نيو أورليانز. ومصممو الشخصيات اشتد الطلب عليهم، ويتضمن هذا الميدان مجال نمو في تطوير البرمجيات.

وأغلب مشتريات الكتب، و«الألبومات» الموسيقية، وأقراص الفيديو، والألعاب، والأنواع الأخرى من البرمجيات لا تتضمن أية أشياء مادية، لذلك ظهرت نماذج الأعمال لتوزيع هذه الأنواع من المعلومات. أحد أشكال التسوق من أجل هذه الأشياء المعلوماتية يتم من خلال «التجول» في مولات افتراضية، بأخذ عينات واختيار أشياء مثيرة للاهتمام، وإجراء الصفقات بسرعة (وبأمان) على الخط مباشرة، ثم إنزال معلومات بسرعة باستخدام اتصال لا سلكي ذي سرعة عالية.

وهناك أنواع ودرجات كثيرة من العمليات التجارية للحصول على منفذ إلى هذه المنتجات. يمكنك «شراء» كتاب، أو ألبوم موسيقي، أو شريط فيديو ... إلخ، مما يسمح لك بمدخل مستمر غير محدود. وفي غير ذلك، يمكن استئجار منفذ للقراءة، أو المشاهدة، أو الاستماع مرة، أو عدة مرات. أو يمكنك استئجار منفذ بالدقيقة. قد يكون المنفذ مقصور على شخص واحد أو مجموعة من الأشخاص (مثال لذلك عائلة أو شركة). وفي غير ذلك قد يكون المنفذ مقصورًا على كمبيوتر خاص، أو على أي كمبيوتر يدخل إليه شخص خاص أو مجموعة أشخاص.

وهناك نزعة قوية تجاه الانفصال الجغرافي لمجموعات العمل. يكون الناس ناجحون في العمل معًا رغم الحياة والعمل في أماكن مختلفة.

ومنزل الأسرة المتوسط يحتوي على أكثر من مائة كمبيوتر، أغلبها مطمور في الأجهزة ومدمج في نظم الاتصال. وظهرت روبوتات بيت الأسرة، لكنها لم تلق قبولًا كاملًا حتى الآن.

وبدأ استخدام الطرق الذكية، أساسًا للرحلات ذات المسافات الطويلة. بمجرد أن يرصد نظام إرشاد الكمبيوتر في سيارتك حساسات التوجيه ويتابعها على أحد هذه الطريق السريعة، يمكنك أن تجلس وتسند ظهرك وتسترخي. ومع ذلك، لا تزال الطرق المحلية تقليدية غالبًا.

وتجاوزت شركة غرب المسيسيبي وشمال طريق ماسون ــ ديكسون التريليون دولار في جعل السوق رأسمالية.

## السياسة والمجتمع

اتضح أن الخصوصية قضية سياسية أساسية. ويسمح الاستخدام الافتراضي المستمر لتقنيات الاتصال الإلكتروني بأثر تفصيلي إلى حد بعيد لكل حركة لكل شخص. ووضعت عملية المقاضاة، التي أصبح هناك عدد كبير منها، قيودًا على الانتشار الواسع لتوزيع البيانات الشخصية. ومع ذلك ما زال لوكالات الحكومة حق الحصول على منفذ لملفات الناس، وهو ما نتج عنه رواج تقنيات التشفير غير القابلة للتحطيم.

وهناك نمو في حركة محطمي الآلات الجدد، حيث يستمر سلم المهارات في التسارع إلى أعلى. وكما هو الحال مع حركات محطمي الآلات المبكرة، فإن التأثير محدود بسبب مستوى الازدهار الذي أصبح ممكنًا بالتكنولوجيا الجديدة. وتنجح الحركة في تأسيس تعليم مستمر كحق أساسي يتعلق بالتوظيف.

وهناك قلق مستمر في الطبقة الاجتماعية الدنيا من أن سلم المهارة تركهم بعيدًا وراءه. ومع ذلك يبدو أن حجم الطبقة الاجتماعية الدنيا مستقر. ورغم أنه أمر غير شائع سياسيًّا، فإنه تم تحييد هذه الطبقة سياسيًّا من خلال المساعدة العامة والمستوى المرتفع بشكل عام للثراء.

## الفنون

درجة الجودة العالية لشاشات الكمبيوتر، وتسهيلات برمجيات الأداء البصري المدعم بالكمبيوتر، جعل شاشة الكمبيوتر وسيط انتقاء للفن المرئي. وأغلب الفن المرئي ناتج عن التعاون بين فنانين بشر وبرمجيات الفن الذكية لديهم. وأصبحت شائعة الرسومات الفنية الافتراضية ــ العروض مرتفعة الوضوح المعلقة على الحائط. وأكثر من كونها عروضًا دائمة لنفس العمل الفني، كما كان الحال مع الرسومات الفنية أو الملصقات التقليدية، فإن هذه الرسومات الفنية الافتراضية يمكنها تغيير العمل المعروض بالطلب الشفهي من المستخدم، أو يمكنها تحريك مجموعات فنية في دورة. والعمل الفني المعروض يمكن إنجازه بواسطة الفنانين البشر أو فن مبتكر في الوقت الحقيقي لبرمجيات فن سبراني.

ويعرقل الموسيقيون البشر عادة الموسقيين السبرانيين. وأصبح الإبداع الموسيقى متاحًا لأشخاص ليسوا موسيقيين. ولا يتطلب الإبداع الموسيقي بالضرورة التناسق المحرك الدقيق لاستخدام مفاتيح التحكم التقليدية. وتتيح نظم الإبداع الموسيقي السبرانية للأشخاص الذين يقدرون قيمة الموسيقى لكنهم ليسوا عالمين بنظرية الموسيقى والممارسة

ابتكار موسيقى بالتعاون مع برمجياتهم للتأليف الآلي. وموسيقى التفاعل المتولدة عن المخ، التي تبتكر رنينًا بين موجات مخ المستخدمين والموسيقى التي يستمعون إليها، تعتبر نوعًا آخرَ شائعًا.

ويستخدم الموسيقيون عادة مفاتيح التحكم الإلكترونية التي تحاكي أسلوب العزف في الآلات الموسيقية السمعية القديمة التي لا تعتمد على الأصوات المعدلة آليًّا (على سبيل المثال، البيانو، والجيتار، والكمان، والطبل)، لكن هناك ارتفاعًا مفاجئًا في الاهتمام بمفاتيح التحكم «الهوائية» الجديدة حيث يمكنك ابتكار موسيقى بتحريك يديك، وقدميك، وفمك، والأجزاء الأخرى من الجسم. وتتضمن مفاتيح تحكم أخرى التفاعل مع أجهزة مصممة بشكل خاص.

يستخدم الكتَّاب معالجة الكلمات المنشَطة بالصوت، ومراقبات النحو تُستخدم الآن بالفعل، وتوزيع الوثائق المكتوبة من مقالات إلى كتب لا تحتوي كما هو المعهود على ورق أو حبر. ويتم على نطاق واسع استخدام برمجيات تحسين الأسلوب والتحرير الآلي لتحسين درجة جودة الكتابة. ويتم أيضًا على نطاق واسع استخدام برمجيات الترجمة لترجمة الأعمال المكتوبة في مجموعة من اللغات. ومع ذلك فإن العملية الجوهرية في إبداع اللغة المكتوبة تتأثر بتقنيات البرمجيات الذكية بشكل أقل من الفنون الموسيقية. ومع ذلك فإن المؤلفين «السبرانيين» يبرزون إلى الوجود.

وراء التسجيلات الموسيقية، والصور، وأقراص فيديو الأفلام السينمائية، فإن النوع الأكثر شيوعًا لهدف الترفيه الرقمي هو برمجيات التجربة الافتراضية. وتتيح لك هذه البيئات الافتراضية التفاعلية أن تذهب للتنقل بطوف في الماء المكسو بالثلج على أنهار افتراضية، أو الطيران معلقًا بأجنحة صناعية في جراند كانيون Grand Canyon افتراضية، أو المشاركة في مقابلات حميمة مع نجمك السينمائي المفضل. ويجرب المستخدمون أيضًا بيئات خيالية لا نظير لها في العالم المادي. وتمارس التجربة البصرية والسمعية للواقع الافتراضي قوة لا تُقاوم، لكن التفاعل الذي ينقل الإحساس باللمس لا يزال محدودًا.

## الحرب

يعتبر أمن الحوسبة والاتصال في بؤرة اهتمام وزارة الدفاع الأمريكية. وهناك إدراك عام بأن الجانب الذي يمكنه المحافظة على سلامة مصادر الحوسبة سيسيطر على أرض المعركة.

والبشر بشكل عام بعيدين جدًّا عن مشهد المعركة. ويهيمن على الحرب أجهزة الذكاء المحمولة جوًّا غير المزودة بالأطقم المدربة. والكثير من هذه الأسلحة الطائرة بحجم الطيور الصغيرة، أو أصغر.

تستمر الولايات المتحدة في كونها القوة العسكرية المهيمنة على العالم، وهو أمر مقبول على نطاق واسع من بقية العالم، حيث إن أغلب البلاد تركز على التنافس الاقتصادي. والمعارك العسكرية بين الدول نادرة، وأغلبها بين الدول ومجموعات إرهابيين أصغر. وأكبر تهديد للأمن الدولي يأتي من أسلحة الهندسة الجينية.

## الصحة والطب

خفضت علاجات الهندسة الجينية من مدى أضرار كارثة السرطان، ومرض القلب، ومجموعة أخرى من المشاكل الصحية. وحدث تطور كبير في فهم قاعدة معالجة بيانات المرض.

ويتم استخدام الطب عن بُعد على نطاق واسع. يمكن للأطباء فحص المرضى باستخدام الفحص البصري والسمعي واللمسي على بُعد. وتحمل العيادات الصحية بالتجهيز الرخيص نسبيًّا وفني واحد الرعاية الصحية إلى مناطق نائية التي كان يندر وجود أطباء فيها.

تمييز النمط المعتمد على الكمبيوتر يتم استخدامه عادة لتفسير بيانات التصوير وإجراءات التشخيص الأخرى. وازداد إلى حد بعيد استخدام تقنيات التصوير غير الإتلافية. وتقريبًا يتضمن التشخيص عادة تعاونًا بين الطبيب البشري ونظام خبير يعتمد على قاعدة تمييز النمط. ويستشير الأطباء عادة نظمًا تعتمد على المعرفة (عمومًا من خلال اتصال صوتي بين طرفين يضاف إليه عروض بصرية)، والتي تتيح توجيهًا آليًّا، ومنفذًا إلى أحدث الأبحاث الطبية، وتوجيهات ممارسة.

يتم حفظ تسجيلات حياة المريض في قواعد بيانات كمبيوتر. والحرص على خصوصية المنفذ إلى هذه التسجيلات (كذلك ما يخص الكثير من قواعد بيانات المعلومات الشخصية) برز بصفته قضية أساسية.

يتدرب الأطباء عادة في بيئات الواقع الافتراضي، الذي يتضمن وسيطًا لمسيًّا. وتحاكي هذه النظم الممارسة البصرية، والسمعية، واللمسية في الإجراءات الطبية، بما في ذلك

الجراحة. والمرضى الناتجين عن المحاكاة موجودون من أجل التعليم الطبي المستمر، لطلاب الطب، والأشخاص الذين يرغبون ببساطة في القيام بدور طبيب.

**الفلسفة**

هناك اهتمام متجدد باختبار تورينج، الذي اقترحه في البداية ألان تورينج في ١٩٥٠ كوسيلة لاختبار ذكاء الآلة. تذكَّر أن اختبار تورينج يتأمل في موقف حيث يحاور محكِّم بشريٌ الكمبيوتر وإنسان «يكشف الفرق بالمقارنة»، وهو متصل بكل منهما من خلال خطين طرفيين. إذا كان المحكِّم البشري عاجزًا عن التعرف على أيهما هو الإنسان وأيهما الآلة، يتم الحكم على الآلة بأن لديها ذكاء على المستوى الإنساني. ورغم أن الكمبيوترات لا تزال تفشل في هذا الاختبار، فإن الثقة تزداد في أنها ستكون في وضع يسمح لها بالنجاح فيه خلال عقد آخر أو عقدين.

هناك تأمل جاد في الشعور المحتمل (أي الوعي) في الذكاء المعتمد على الكمبيوتر. ويحث ذكاء الكمبيوترات المتزايد بوضوح اهتمامًا في المجال الفلسفي.

---

... هاي، موللي.

**أوه، إذن أنت تنادي عليّ الآن.**

حسنًا، انتهى الفصل ولم أسمع منك شيئًا.

**أنا آسفة، كنت أنتهي من مكالمة هاتفية مع خطيبي.**

هاي، تهانينا، هذا عظيم. منذ متى وأنت تعرفين ...

**بين، اسمه بين. تقابلنا منذ نحو عشر سنوات، بالضبط بعد أن انتهيت أنت من هذا الكتاب.**

فهمت. إذن ما رأيك فيما فعلت؟

**نجحت في بيع بضع نسخ.**

لا، أعني بالنسبة لتنبؤاتي.

**ليست جيدة جدًّا. هواتف الترجمة، من جهة أولى، سخيفة بعض الشيء. أعنى، أنها تضطرب مرارًا وتكرارًا.**

يبدو أنك تستعملينها، مع ذلك؟

**حسنًا، بالتأكيد، وهل هناك طريقة أخرى لكي أتحدث مع والد خطيبي في إيبير، في بلجيكا، حيث لا يزعج نفسه بتعلم الإنجليزية؟**

بالطبع. إذن وماذا حدث أيضًا؟

**لقد قلت أن الإصابة بالسرطان شهدت انخفاضًا، لكن تم التقليل من خطورتها كثيرًا بالفعل. علاجات الهندسة الجينية، وخاصة العقاقير المضادة لتكوُّن الأوعية التي تمنع الأورام من تنمية الأوعية الشعرية التي تحتاج إليها، قد منعت أغلب أنواع السرطان باعتبارها السبب الرئيسي للموت.[٦]**

حسنًا، ربما لم يكن ذلك تنبؤًا كنت أريد تقديمه. لقد كان هناك الكثير من الآمال الزائفة بالنسبة لعلاجات السرطان، لذلك فإن الكثير من المقاربات الواعدة ثبت أنها تسير في طريق مسدود، لذلك ربما لم أكن راغبًا في تقديم هذه الإشارة. وأيضًا، ربما لم يكن هناك ما يكفي من الأدلة عندما كتبت الكتاب في ١٩٩٨ تجعل هذا الأمر تنبؤًا مثيرًا.

**لا يعني ذلك أنك تنفر من التنبؤات المثيرة.**

التنبؤات التي قمت بها كانت بالفعل معتدلة تمامًا، وكانت قائمة على تقنيات ونزعات يمكنني لمسها والشعور بها. وكنت مدركًا ومطلعًا بالتأكيد على مداخلات متعددة واعدة لعلاجات الهندسة الجينية للسرطان، لكنها كانت لا تزال مشكوكًا فيها إلى حد ما، مع وضع تاريخ الأبحاث حول السرطان في الاعتبار. وعلى أي حال لقد لمس الكتاب فقط الهندسة الجينية بشكل عرضي، رغم أنه من الواضح أنها تقنية تعتمد على المعلومات.

**ماذا بالنسبة للجنس؟**

إذا تحدثنا عن المشاكل الصحية ...

**نعم، حسنًا، لقد قلت أن الشركاء الافتراضيين شائعين، لكنني ببساطة لا أرى ذلك.**

ربما هذا بالنسبة للدائرة التي تتحركين فيها لا غير.

**لديَّ دائرة صغيرة جدًا ــ في غالب الأحيان كنت أحاول أن أجعل بين يضع زواجنا في بؤرة اهتمامه.**

نعم، حدثيني عنه.

**أنه رومانسي جدًا. إنه يرسل لي بالفعل خطابات على الورق!**

هذا أمر رومانسي. إذن، ماذا عن المكالمة التي قاطعتها؟

**كنت أجرب ثوب النوم هذا الذي أرسله إليّ. أظن أنه يقدره كثيرًا، لكنه كان منزعجًا بعض الشيء.**

أفترض أنك في طريقك للانتهاء من هذه المراعاة.

**حسنًا، يريد مني إلى حد ما أن أترك هذه الأشرطة تتزحلق، ولو قليلًا. لكنني إلى حد ما خجولة على الهاتف. لن أشارك فعلًا في جنس هاتف الفيديو، ليس مثل ما يفعل بعض الأصدقاء الذين أعرفهم.**

أوه، إذن لقد كان تنبؤي هذا صحيحًا.

**على أي حال، لقد قلت له فقط أن عليه أن يستخدم محولات الصور.**

المحولات؟

**أنت تعرف، يمكنه تجريدي من ملابسي ببساطة عند خطه الطرفي.**

أوه نعم، بالطبع. يغير الكمبيوتر صورتك في الوقت الحقيقي.

**بالضبط. يمكنك تغير وجه شخص ما، أو جسمه، أو ملابسه، أو ما يحيط به إلى شخص آخر أو شيء آخر بالكامل، ولا يعرفون أنك تفعل ذلك.**

همممم.

**على أي حال، لقد ضبطت بين وهو يجرد حبيبته القديمة من ملابسها عندما كانت تتصل به لتهنئته بخطوبتنا. لم يكن لديها فكرة عن ذلك، وظن هو أن ذلك غير مؤذ. لم أتكلم معه لمدة أسبوع.**

حسنًا، طالما كانت طبعًا على نهاية الخط لديه.

**لا أحد يعرف ما كانت تفعله عند نهاية الخط لديها.**

هذا شأنها إلى حد ما، أليس كذك؟ طالما لا يعرفون ما يفعله الآخرون.

**لست متأكدة إلى هذه الدرجة أنهم لا يعرفون. على أي حال، يقضى الناس الكثير من الوقت معًا بقرب بعضهم البعض ولكن من على بُعد، لعلك تدرك ما أعنيه.**

مستخدمين العروض؟

**نطلق عليها البوابات ــ يمكنك النظر من خلالها، لكن لا يمكنك اللمس.**

أفهم ذلك، هل لا يزالون غير مهتمين بالجنس الافتراضي؟

**ليس بشكل شخصي. أعنى، إنه أمر مثير للعاطفة إلى حد ما. لكننى كتبت نسخة لنشرة حول بيئة الواقع الافتراضي المتعلقة بالحواس. ولكوني منخفضة في التسلسل الهرمي، لا يمكنني بالفعل أن أنقر تكليفاتي.**

هل تجربين الإنتاج؟

**لم أجربه بالضبط. لقد راقبته فقط. قد أقول إنهم يضعون الجهد على البنات الافتراضيات أكثر منه على الأولاد.**

كيف تُفهم حملتك ذلك؟

**المنتَج ثمل. أعني أن السوق في حالة فوضى إلى حد بعيد.**

لا يمكنك الانتصار عليهم جميعًا.

**لا، لكن أحد تنبؤاتك دبر أمره جيدًا. لقد عملت بنصيحتك حول تلك الشركة في شمال طريق ماسون-ديكسون. و، هاي، أنا لا أتذمر.**

قد أراهن أن الكثير من البضائع في المخزن ازدادت.

**نعم، النفقات مستمرة في الارتفاع.**

حسنًا، وماذا غير ذلك؟

**كنت على حق فيما يخص المعوقين. رفيقي في المكتب أصم، وليس هذا هو الموضوع بأي حال. ليس هناك شيء مهم لا يمكن للشخص الأعمى أو الأصم أن يفعله في الوقت الحالي.**

كان هذا صحيحًا إذا عدنا إلى ١٩٩٩.

**أظن أن التغير الملحوظ الآن أن الجمهور يدرك ذلك. لقد أصبح فقط أكثر وضوحًا بكثير مع التكنولوجيا الحالية. لكن هذا الإدراك مهم.**

بالتأكيد، بدون التكنولوجيا، هناك فقط الكثير من سوء الفهم والشك غير المنطقي.

**هذا حقيقي تمامًا. أظن أن عليَّ أن أواصل ما كنت أفعله، يمكنني عرض وجه بين على خط هاتفي.**

إنه يشبه سانت برنارد St. Bernard.

**أوه، لقد تركت محولات الصورة لديَّ تعمل. ها هو، سأجعلك ترى صورته فعلًا.**

هاي، رجل وسيم. حسنًا، أتمنى لك حظًا طيبًا. يبدو أنك تغيرت.

**أتمنى ذلك.**

أعنى أظن أن علاقتنا تغيرت.

**حسنًا، لقد أصبحت أكبر بعشر سنوات.**

ويبدو أنني قد طرحت عليك أغلب الأسئلة.

**أظن أنني الخبيرة الآن. أستطيع أن أقول لك ما أراه فقط. لكن كيف حدث أنك لا تزال ملتصقًا بـ ١٩٩٩؟**

أخشى أنني فقط لا يمكنني بعد أن أغادره تمامًا. يجب أن أُخرج هذا الكتاب، من جهة أولى.

**لديَّ تشوش واحد. كيف يحدث أنك يمكنك الكلام معي من ١٩٩٩ بينما أنا هنا في عام ٢٠٠٩؟ ما نوع هذه التكنولوجيا؟**

أوه، إنها تقنية قديمة جدًا، يطلق عليها حرية العمل الشعرية.

الفصل العاشر

# ٢٠١٩

هذا الذي يمتطي فيلًا بريًّا يذهب حيث يذهب الفيل البري.

راندولف بورن Randolph Bourne

ليس في صالحك أن تترك تنينًا خارج حساباتك، إذا كنت تعيش بالقرب منه.

جي. آر. آر. توكين J. R. R. Tolkien

## الكمبيوتر نفسه

الكمبيوترات الآن غير مرئية في الأغلب. وهي مغروسة في كل مكان — في الحوائط، والموائد، والمقاعد، والأدراج، والملابس، والمجوهرات، وفي الأجسام.

ويستخدم الناس عادة عروضًا في الأبعاد الثلاثة مدمجة في نظاراتهم[1]، أو عدساتهم اللاصقة. وتُنتج عروض «العين المباشرة» هذه بيئات واقعية، وافتراضية بصرية تكسو البيئة «الحقيقية.» وتعكس تقنية العرض هذه الصور مباشرة على شبكية الإنسان، وتتخطى وضوح الصورة في الرؤية الإنسانية، ويتم استخدامها على نطاق واسع بصرف النظر عن العجز البصري. وتعمل عروض العين المباشرة بثلاثة أساليب:

(١) عرض بتوجيه الرأس: الصور المعروضة غير متحركة بالنسبة لوضع وتوجيه رأسك. عندما تحرك رأسك، يتحرك العرض بالنسبة للبيئة الحقيقية. ويتم استخدام هذا الأسلوب غالبًا للتفاعل مع الوثائق الافتراضية.

(٢) عرض تغطية الواقع الافتراضي: تنزلق الصور المعروضة عندما تحرك أو تدير رأسك بحيث يبدو الناس والأشياء والبيئة الافتراضيين كما لو أنهم ما زالوا دون حركة بالنسبة للبيئة الحقيقية (التي تستمر في رؤيتها). لذلك لو أن عرض العين المباشرة يعرض صورة شخص (قد يكون شخصًا حقيقيًا بعيدًا جغرافيًا مشغول في مكالمة على هاتف بصري في الأبعاد الثلاثة معك، أو شخص «ناتج عن المحاكاة» من توليد الكمبيوتر)، سوف يبدو هذا الشخص المنعكس كما لو أنه في مكان محدد بالنسبة للبيئة الحقيقية التي تراها أنت أيضًا. وعندما تحرك رأسك، سوف يظهر هذا الشخص المنعكس كما لو أنه ما زال في نفس المكان بالنسبة للبيئة الحقيقية.

(٣) عرض الواقع الافتراضي المانع: هو نفس عرض تغطية الواقع الافتراضي باستثناء أن البيئة الحقيقية ممنوعة. تَستخدم هذا الأسلوب لترك الواقع «الحقيقي» والدخول إلى بيئة الواقع الافتراضي.

بالإضافة إلى العدسات البصرية، هناك «العدسات» السمعية، التي تضع الأصوات عالية الوضوح في مواقع دقيقة في بيئة ثلاثية الأبعاد. ويمكن دمجها في نظارات، وارتدائها مثل مجوهرات الجسم، أو زرعها في قناة الأذن.

ولوحات المفاتيح نادرة لكنها لا تزال موجودة. وأغلب التفاعلات مع الحوسبة تتم من خلال إيماءات باستخدام اليدين، والأصابع، وتعبيرات الوجه ومن خلال اتصال محادثة باللغة الطبيعية في اتجاهين. ويتصل الناس بالكمبيوترات بنفس الطريقة التي يتصلون من خلالها بمساعد بشري، بشكل شفهي ومن خلال التعبير البصري. وهناك اهتمام كبير بشخصية المساعدين الشخصيين المعتمدين على الكمبيوتر، مع توافر خيارات كثيرة. ويمكن للمستخدمين نمذجة شخصية لمساعديهم الأذكياء على أشخاص حقيقيين، بما في ذلك هم أنفسهم، أو اختيار مجموعة صفات من تشكيلة من الشخصيات العامة وأصدقاء وأصحاب المستخدم.

وكما هو المعهود، لا يملك الناس «كمبيوترًا شخصيًا» واحدًا محددًا فقط يخصهم، رغم أن الحوسبة مع ذلك شخصية تمامًا. الحوسبة والاتصال بنطاق التردد بالغ الارتفاع مغروسان في كل مكان. واختفت الكبلات إلى حد بعيد.

سعة الحوسبة لجهاز حوسبة بـ ٤٠٠٠ دولار (بقيمة دولارات ١٩٩٩) يساوي بالتقريب قدرة الحوسبة في المخ البشري (٢٠ مليون مليار عملية حسابية في الثانية).[٢]

ومن القدرة الكلية للحوسبة للجنس البشري (أي كل الأمخاخ البشرية) مضافة إلى تقنية الحوسبة ابتكر الجنس البشري أكثر من ١٠ بالمائة من غير البشر.[٣]

حل محل الذكريات الدوارة وأجهزة الحوسبة الكهروميكانيكية الأخرى بالكامل أجهزة إلكترونية. وتعتبر الهياكل الشبكية من الأنابيب النانوية الآن شكلًا شائعًا لدوائر الحوسبة.

وأغلب «العمليات الحسابية» للكمبيوترات مكرسة الآن للشبكات العصبية كثيفة التوازي والخوارزميات الجينية.

حدث تقدم كبير للهندسة العكسية لمخ الإنسان المعتمدة على المسح. ومن المفهوم تمامًا في الوقت الحالي أن المخ يتألف من الكثير من المناطق المتخصصة، كل منها له طوبولوجيا وبنية وصلات ما بين العصبونات الخاصة به. وبدأت الخوارزميات كثيفة التوازي في أن تكون مفهومة، وتم تطبيق هذه النتائج على تصميم الشبكات العصبية المعتمدة على الآلة. ومن المعروف أن الشفرة الوراثية للإنسان لا تحدد الاتصال ما بين العصبونات على وجه الدقة لأي من هذه المناطق، لكنها بالأحرى تتيح عملية تطورية سريعة حيث تتأسس الوصلات وتصارع من أجل البقاء. وتستخدم العملية النموذجية لتوصيل الشبكات العصبية المعتمدة على الآلة خوارزم تطوري جيني مماثل.

وظهرت تقنية تصوير ضوئي جديدة يتحكم فيها الكمبيوتر باستخدام أجهزة حيود معتمد على الميكانيكا الكمية، حلت محل أغلب العدسات مع أجهزة بالغة الصغر يمكنها استخلاص موجات الضوء من أية زاوية. والكاميرات في حجم سن الدبوس هذه موجودة في كل مكان.

تستطيع الآلات المصنوعة بالهندسة النانوية المستقلة أن تتحكم في حركتها الخاصة وتحتوي على محركات حوسبة ضخمة. وبدأ استعمال هذه الآلات المجهرية في التطبيقات التجارية، خاصة في الصناعة وعملية التوجيه، لكنها ليست اتجاهًا سائدًا حتى الآن.

## التعليم

العروض المسوكة باليد بالغة الرقة، وواضحة الصورة إلى حد بعيد، وتزن فقط عدة أوقيات. ويقرأ الناس الوثائق إما بالعروض المسوكة باليد أو الأكثر شيوعًا من نص ينعكس في بيئة افتراضية موجودة في كل وقت باستخدام عروض العين المباشرة الموجودة في كل مكان وفي كل الأوقات. والكتب والوثائق الورقية نادرة الاستخدام ويندر الدخول

إليها. ولقد تم مسح أغلب وثائق القرن العشرين الورقية المهمة وهي متوافرة من خلال الشبكة اللاسلكية.

يتم إنجاز أغلب التعليم باستخدام مدرسين أذكياء تمت محاكاتهم باستخدام البرمجيات. وعندما يتطلب الأمر التدريس بمدرسين بشر، لا يكون المدرسين البشر غالبًا في الجوار المحلي للطالب. ويعتبر المدرسون في الغالب مقدمي نصيحة أو مستشارين أكثر منهم مصادر تعليم ومعارف. يستمر الطلاب في التجمع معًا لتبادل الأفكار والتهيئة الاجتماعية، رغم أن هذا التجمع يكون غالبًا من على بُعد مادي وجغرافي.

كل الطلاب يستخدمون الحوسبة. والحوسبة بشكل عام موجودة في كل مكان. لذلك فإن الطالب الذي ليس لديه كمبيوتر أمر نادر. وأغلب العمال البشر البالغين يقضون أغلب أوقاتهم في اكتساب مهارات ومعارف جديدة.

## الإعاقات

يستخدم الأشخاص العميان عادة نظم إرشاد ــ قراءة موضوعة على النظارات، والتي تدمج بين حساسات ضوئية تعطي صورًا عالية الوضوح، ويتم توجيهها رقميًّا. ويمكن لهذه النظم أن تقرأ نصًّا في العالم الحقيقي، رغم أنه منذ أن أصبحت أغلب المطبوعات الآن إلكترونية، صارت القراءة من المطبوعة إلى الكلام أقل ضرورة. والوظيفة الإرشادية لهذه النظم، والتي ظهرت منذ نحو عشر سنوات، تم اكتمالها الآن. وتتصل أجهزة المساعدة الآلية للإرشاد في القراءة هذه من أجل المستخدمين العميان من خلال كل من مؤشرات الكلام وناقلات الإحساس باللمس. وتُستخدم هذه النظم أيضًا على نطاق واسع من أشخاص مبصرين حيث إنها تتيح لهم تلقي صور عالية الوضوح للعالم المرئي.

ظهرت عمليات زراعة للرؤية العصبية والشبكية لكنها لا تزال محدودة ويتم استخدامها فقط بواسطة نسبة صغيرة من الأشخاص العميان.

يقرأ الأشخاص الصم عادة ما يقوله الآخرين من خلال عدسات العروض للصم. وهناك نظم تتيح توضيحًا بصريًّا ولمسيًّا للتجارب السمعية الأخرى مثل الموسيقى، لكن هناك جدلًا حول مدى ما تتيحه هذه النظم من تجربة مساوية لما يتلقاه شخص يسمع بشكل طبيعي. وعمليات زراعة قوقعة الأذن وغيرها لتحسين السمع فعالة جدًّا ويتم استخدامها على نطاق واسع.

يسير الأشخاص مشلولي الطرفين السفليين وبعض مشلولي الأطراف الأربعة ويصعدون السلالم عادة من خلال الجمع بين محاكاة عصب يتحكم فيه الكمبيوتر وأجهزة روبوتية ذات هيكل خارجي. وبشكل عام، فإن إعاقات مثل العمى، والصمم، والشلل السفلي غير ملموسة ولا ينظر إليها على أنها ذات دلالة كبيرة.

## الاتصال

تقريبًا يمكن أن تفعل أي شيء مع أي شخص بصرف النظر عن القرب المادي. والتكنولوجيا التي تنجز ذلك سهلة الاستخدام وموجودة في كل مكان.

مكالمات «الهاتف» تتضمن عادة صورًا في الأبعاد الثلاثة عالية الوضوح تنعكس من خلال عروض عين مباشرة وعدسات سمعية. وظهرت أيضًا العروض ثلاثية الأبعاد للصور المجسمة. وفي كلا الحالتين، يشعر المستخدمون كما لو أنهم على قرب مادي من الشخص الآخر. ويساوي وضوح الصورة أو يتفوق على أفضل حدة بصر إنسانية. لذلك يمكن للشخص أن يُخدع بما إذا كان شخص آخر أو لم يكن موجودًا هو نفسه بشكل مادي أم أنه منعكس من خلال اتصال إلكتروني. ولا تتطلب أغلب «الاجتماعات» الوجود ماديًا على قرب.

وتتضمن تقنية الاتصال المتوافرة عادة ترجمة عالية الجودة للغة من الكلام إلى الكلام بالنسبة لأغلب ثنائيات اللغات.

قراءة الكتب، والمجلات، والصحف، ووثائق شبكة المعلومات العالمية، والاستماع إلى الموسقى، ومشاهدة الصور المتحركة في الأبعاد الثلاثة (مثلًا التليفزيون، والأفلام السينمائية)، والمشاركة في مكالمات الهاتف البصري في الأبعاد الثلاثة، والدخول إلى بيئات افتراضية (بنفسك، أو مع آخرين قد يكونوا بعيدين جغرافيًا)، ومجموعات أخرى من هذه النشاطات، تتم كلها من خلال شبكة المعلومات العالمية للاتصالات الموجودة في كل مكان ولا تتطلب أية تجهيزات، أو أجهزة، أو أشياء يتم ارتداؤها أو زرعها.

والبيئة اللمسية المغطاة بشكل كامل متوافرة الآن ومقنعة تمامًا. ويساوي الوضوح فيها أو يتفوق على اللمس البشري ويمكنها محاكاة (وتحفيز) كل أوجه الشعور باللمس، بما في ذلك الإحساس بالضغط، ودرجة الحرارة، وملمس الأسطح، والرطوبة.

ورغم أن الجوانب البصرية والسمعية للواقع الافتراضي تتضمن أجهزة لديك أو في جسمك (عدسات العين المباشرة والعدسات السمعية)، فإن البيئة اللمسية (اللمس

الكامل) تتطلب الدخول إلى مقصورة الواقع الافتراضي. وهذه التقنيات شائعة في الفحص الطبي، بالإضافة إلى التفاعلات الحسية والجنسية مع الشركاء البشر الآخرين أو الأشخاص الموجودين بالمحاكاة. في الواقع، إنه الأسلوب المفضل في التفاعل، حتى عندما يكون الشريك البشري قريبًا، نظرًا لقدرة هذا الأسلوب على تعزيز كل من الممارسة والأمان.

## الأعمال والاقتصاد

استمر التوسع الاقتصادي والازدهار.

وتتضمن الأغلبية الساحقة من المعاملات التجارية شخصًا موجودًا بالمحاكاة، يمثل شخصية واقعية مفعمة بالحيوية والنشاط واتصال في اتجاهين مع فهم مرتفع الجودة للغة الطبيعية. وليس هناك غالبًا إنسان مُتضَمَن في هذه العملية، حيث إن الإنسان قد يكون لديه أو لديها مساعد شخصي آلي يقوم بالمعاملات التجارية لمصلحته الخاصة مع شخصيات آلية أخرى. وفي هذه الحالة، يتغاضى المساعدون عن اللغة الطبيعية ويتصلون مباشرة بترتيبات تبادل المعارف المناسبة.

والآن توجد روبوتات بيت الأسرة التي تقوم بالتنظيف والأعمال الروتينية الأخرى في كل مكان وفي جميع الأوقات ويمكن الاعتماد عليها.

وتعتبر نظم القيادة الآلية موضع ثقة إلى حد بعيد وتم وضعها في كل الطرق تقريبًا. وبينما لا يزال يُسمح للبشر بالقيادة على الطرق المحلية (رغم أن هذا غير مسموح به على الطرق السريعة)، تعتبر نظم القيادة الآلية مشغولة دائمًا ومستعدة للسيطرة عندما تكون هناك ضرورة لمنع الحوادث. وظهرت مركبات طائرة شخصية فعالة باستخدام الجنيحات بالغة الصغر ويتم أساسًا التحكم فيها بواسطة الكمبيوتر. وهناك القليل جدًّا من حوادث النقل.

## السياسة والمجتمع

بدأ الناس في إقامة علاقات مع الشخصيات الآلية كرفاق، ومدرسين، ومشرفين، وأحباء. والشخصيات الآلية أفضل من البشر من عدة جوانب، مثل أن لديها نظم ذاكرة جديرة بالثقة وإذا تطلب الأمر، شخصيات قابلة للتنبؤ بها (وبرمجتها). ولا تعتبر حتى الآن مساوية للبشر في فطنة شخصياتهم، رغم وجود خلاف حول هذه النقطة.

يظهر تلميح بالقلق تجاه تأثير ذكاء الآلة. يستمر وجود اختلافات بين ذكاء الإنسان وذكاء الآلة، لكن مميزات الذكاء الإنساني يصبح من الصعب تحديدها والإفصاح عنها. تم مزج ذكاء الكمبيوتر بدقة وإحكام في آليات الحضارة وتم تصميمه ليكون خاضعًا في الظاهر للتوجيه البشري الواضح. من جانب، تتطلب التعاملات والقرارات الإنسانية من الناحية القانونية وكيلًا بشريًّا له مسئولية، حتى لو كانت هذه المسئولية تتم مباشرتها بذكاء الآلة. ومن جانب آخر، القليل من القرارات يتم اتخاذه بدون مشاركة واستشارة كبيرين للذكاء المعتمد على الآلة.

تتم عادة مراقبة المجالات العامة والخاصة بذكاء الآلة لمنع العنف بين الأشخاص. ويحاول الناس حماية خصوصيتهم بتقنيات تشفير لا يمكن تحطيمها تقريبًا، لكن الخصوصية تستمر في كونها قضية سياسية واجتماعية مع التخزين الفعلي لكل حركة لكل فرد في قاعدة بيانات في مكان ما.

يستمر وجود الطبقة الاجتماعية الدنيا كقضية. بينما هناك ازدهار كاف لتوفير الضروريات الأساسية (المسكن الآمن والطعام من بين الضروريات الأخري) دون إجهاد كبير للاقتصاد، وتستمر النزاعات القديمة في قضايا المسئولية وفرص التقدم.

ولقد تعقدت القضية بالعناصر المتنامية لأغلب العمالة التي يشغلها التعليم الذاتي للعامل واكتساب المهارة. بعبارة أخرى، الاختلاف بين هؤلاء المشاركين في «الإنتاجية» ومن ليسوا كذلك أمر لا يكون واضحًا باستمرار.

## الفنون

يظهر الفنانون الافتراضيون في كل الفنون ويتم وضعهم في الاعتبار بشكل جاد. وعادة ينضم هؤلاء الفنانون البصريون السبرانيون، والموسيقيون، والآخرون، إلى البشر أو المؤسسات (التي بدورها تتكون من تعاون بين البشر والآلات) الذين يساهمون بقاعدة معارفهم وتقنياتهم. ومع ذلك تخطى الاهتمام بخرج هذه الآلات المبدعة مجرد الطرفة في أن تكون الآلات مبدعة.

وكما هو المعهود، يتضمن الفن البصري، والموسيقي، والأدبي الذي يبتكره الفنانون البشر تعاونًا بين ذكاء البشر وذكاء الآلة.

الطلب في أعلى درجاته على نوع المنتجات الفنية والترفيهية (مُقاسًا بالعوائد المتولدة)، يستمر في كونه برمجيات الممارسة الافتراضية، التي تتراوح بين محاكاة الممارسة «الحقيقية» والبيئات البعيدة عن الواقع مع القليل من لوازم العالم المادي أو بدونها.

## الحرب

التهديد الأساسي للأمن يأتي من مجموعات صغيرة تجمع بين البشر وذكاء الآلة باستخدام اتصالٍ بشفرة لا يمكن تحطيمها. وهذا يتضمن (١) تصدع قنوات الاتصال العامة باستخدام فيروسات البرمجيات، و(٢) عوامل المرض المهندسة جينيًّا.

أغلب الأسلحة الطائرة بالغة الصغر ــ بعضها صغير بحجم الحشرات ــ مع أسلحة طائرة مجهرية تُجرى عليها الأبحاث.

## الصحة والطب

الكثير من عمليات الحياة المشفرة في الجينوم البشري، والتي كان قد تم فك شفرتها منذ أكثر من عشر سنوات، تم فهمهما إلى حد بعيد الآن، مع آليات معالجة المعلومات الأساسية في التقدم في العمر وفي حالات التفسخ مثل السرطان وأمراض القلب. متوسط عمر الإنسان الذي تضاعف تقريبًا، نتيجة الثورة الصناعية الأولى (من ١٧٨٠ حتى ١٩٠٠) والمرحلة الأولى من الثورة الصناعية الثانية (القرن العشرين)، من أقل من أربعين سنة، ازداد بمقدار كبير من جديد، حتى تخطى المائة عام.

وهناك زيادة في إدراك خطر التيسير واسع الانتشار لتقنية الهندسة الجينية. والوسيلة متوافرة لأي شخص مع مستوى المعارف والتجهيز المتوافرين لطالب عادي متخرج من الجامعة لكي يبتكر عوامل المرض بإمكانية تدميرية هائلة. أن تعادل هذه الإمكانية إلى حد ما المكاسب المماثلة في العلاجات المضادة للفيروسات المهندسة جينيًّا، يتضمن موازنة صعبة، ويلقى اهتمامًا كبيرًا من وكالات الأمن الدولية.

ويتم على نطاق واسع استخدام أجهزة المراقبة الصحية المعتمدة على الكمبيوتر والمدمجة في الساعات، والمجوهرات، والملابس والتي تشخص الأحوال الصحية الحادة والمزمنة. وبالإضافة إلى التشخيصات، تتيح هذه الأجهزة مجالًا للتوصيات والتدخلات العلاجية.

**الفلسفة**

هناك تقارير شائعة حول كمبيوترات نجحت في اختبار تورينج، رغم أن هذه الحالات لا تتفق مع المعيار (بالنسبة إلى حذق المُحَكِّم البشري، وطول مدة زمن الحوار... إلخ) الذي سنه المراقبون الذين لديهم حسن اطلاع. وهناك وعي بأن الكمبيوترات لم تنجح بعد في اختبار تورينج شرعي، لكن هناك جدل متنامي حول هذا الموضوع.

تم بشكل جاد مناقشة التجربة الذاتية للذكاء المعتمد على الكمبيوتر، رغم أن حقوق ذكاء الآلة لم يدخل بعد في الجدل الثائر. ولا يزال ذكاء الآلة منتجًا من التعاون بين البشر والآلات، وتمت برمجته لكي يحافظ على علاقة الخضوع للجنس البشري الذي ابتكره.

---

**حسنًا، أنا هنا الآن. وأنا آسفة لأنني انشغلت منذ عشر سنوات مضت.**

ليست هناك مشكلة. كيف حالك؟

**أنا بخير ــ مشغولة ــ لكنني صامدة. أستعد لحفلة عيد الميلاد العاشر لابني.**

أوه، إذن أنت كنت حامل آخر مرة تحدثنا فيها.

**لم يكن قد ظهر بعد، لكن الناس لاحظوا ذلك في الزفاف.**

وكيف حاله؟

**على ما يرام، لكن من الصعب مجاراة جيريمي.**

لا يبدو ذلك شديد الغرابة.

**على أي حال، وجدت جيريمي مع هذه المرأة الأكبر سنًا منه، في مثل سني، الأسبوع الماضي. لنقل فقط إنها لم تكن ترتدي كل ملابسها.**

أوه، حقًا.

**تبين أنها مدرسته في الصف الرابع.**

يا سلام، ما الذي كانت تفعله؟

**حسنًا، كان مريضًا، لذلك تعطي له الواجب المدرسي المكلف به.**

دون ارتدائها كل ثيابها؟

**أوه، لم يكن لديها فكرة عن ذلك.**

طبعًا، محولات الصور، لقد نسيت.

**لم يكن من المفترض أنه يكون لديه منفذ إلى هذه المحولات الخاصة. لكن من الواضح أنه حصل على وسيلة إلغاء برمجيات دخول الأطفال إلى الإنترنت من أحد أصدقائه. لم يقل من هو.**

بعض الأشياء لا تتغير.

**أظن أن وسيلة الإلغاء هذه عادت الآن.**

إذن هل ناقشت ذلك مع مدرسته؟

**مس سيمون؟ يا إلهي، لا.**

هل كان هناك أي عقاب؟

**تنشيط إلغاء برمجيات مراقبة دخول الأطفال إلى الإنترنت لا يتم التسامح معه في بيتنا. تم حبسه في مركز الحسيات Sensorium لمدة شهر.**

يبدو ذلك معقدًا جدًّا لا يمكن فهمه. مركز حسيات؟ هل هذا نوع من الواقع الافتراضي؟

**فعلًا، مركز الحسيات هو الاسم التجاري لبيئة اللمس الشامل الموجودة لدينا. إنه نموذج جديد مع تقنية متطورة متعلقة بحاسة الشم. بالنسبة للواقع الافتراضي البصري السمعي فقط ــ وهو فاتن جدًّا في كل الأوقات باستخدام العدسات، لا تحتاج لاستخدام أي شيء خاص.**

إذن ما الذي يفعله في مركز الحسيات؟

**أوه، يلعب الملاكمة بالركل بالقدم، والمصارعة المجرية، وهي الأشياء العادية لمن هم في سن العاشرة. في المدة الأخيرة، كان يقوم بدور الطبيب.**

أوه، أوه، يبدو أنه يتميز بالنضوج المبكر.

**أظن أنه يحاول فقط اختبار صبرنا.**

إذن هذا الحادث مع مس سيمون، كان في مركز الحسيات؟

**لا، كان مجرد مكالمة هاتف واقع افتراضي ــ كان جيريمي هنا في المطبخ. وكان لديه مس سيمون جالسة على مائدة المطبخ.**

إذن إذا كان ينظر إلى صورتها المتحولة باستخدام عدسات الواقع الافتراضي لديه، كيف استطعت أنت رؤيتها؟

**حسنًا، لدينا منفذ إلى بيئات الواقع الافتراضي لأبنائنا الصغار حتى يبلغوا سن الرابعة عشرة.**

فهمت، فهل تكونين إذن في نفس الوقت في بيئة الواقع الافتراضي لديك، وتلك الخاصة بأطفالك؟

**نعم، ولا تنس الواقع الحقيقي، وليس هذا الواقع الافتراضي غير الحقيقي.**

أليس ذلك مربكًا، رؤية وسماع كل هذه البيئات المختلفة وهي تغطي بعضها بعضًا؟

**نحن لا نسمع بيئات الواقع الافتراضي لأطفالنا. فالضجيج قد يصيبنا بالجنون، ويحتاج الأطفال إلى أن يكون لهم بعض الخصوصية أيضًا. يمكننا فقط سماع الواقع الحقيقي وواقعنا الافتراضي الخاص. ويمكننا الضبط على موجة الأنواع المختلفة من الواقع الافتراضي لأطفالنا والتحول عنها. لذلك عندما ضبطت على الموجة كانت مس سيمون هناك.**

ما الذي تمت معاقبته عليه أيضًا؟

**منذ ثلاثة أشهر، كان يغلق منفذ الواقع الافتراضي لطفلنا. وأظن أنه حصل على ذلك من نفس الصديق.**

لست متأكدًا من أنني ألومه. لا أظن أنني قد أرغب في أن تنظر أمي إلى واقعي الافتراضي طول الوقت.

**لا نشاهده طول الوقت، فنحن في الواقع انتقائيين تمامًا. لكن عليك أن تراقب أطفالك في هذه الأيام. ليس لدينا مثل هذه المشكلة مع ابنتنا إميلي.**

إنها ...

**بلغ عمرها ست سنوات الشهر الماضي. إنها حبيبة حقًا.إنها فقط تلتهم الكتب.**

في سن السادسة، هذا مثير للإعجاب. هل تقرأها بنفسها؟

**بنفسها؟ كيف يمكنها أن تقرأها بأية طريقة أخرى؟**

حسنًا، لعلك تقرأينها لها.

**أفعل ذلك أحيانًا. لكن إميلي تشعر أنني لست متكيفة بشكل كاف. لذلك فلديها هاري هيبو يقرأها لها، ويفعل بالضبط ما ترغب فيه، ولا يرد الجواب بسلاطة.**

وهل يحدث كل ذلك في الواقع الافتراضي، كما أفترض؟

**بالطبع. لا أريد فرس نهر حقيقيًا يجلس على مائدة مطبخي.**

ليس مع مس سيمون المكسوة جزئيًا أيضًا.

**ستصبح مائدة مزدحمة.**

إذن عندما يقرأ هاري هيبو لإميلي، فإنها تتابعه من خلال كتابها الافتراضي.

**يمكنها إما أن تتابعه بنفسها، أو تقوم بتشغيل الآلية التي تبرز المعاني. و الأطفال يجعلون أصدقائهم الافتراضيين المفضلين يقرأون لهم، بينما يراقبون كتبهم الافتراضية بميزة إبراز المعاني. وبعد ذلك يغلقون ميزة إبراز المعاني، وفي النهاية لا يحتاجون حتى إلى هاري هيبو.**

نوع من رفع أثقال التدريب.

**صحيح. والآن، شيء واحد يهبني الراحة هو أنني أعرف دائمًا مكان وجود طفلي.**

في الواقع الافتراضي؟

**لا، أن أتكلم عن الواقع الحقيقي الآن. على سبيل المثال، يمكنني أن أرى أن جيريمي على بعد بلوكين، متوجه في هذا الاتجاه.**

شريحة مغروسة؟

**ذلك تخمين معقول. لكنها ليست شريحة بالضبط. إنها أحد التطبيقات الأولى المفيدة للتقنية النانوية. أن تأكل هذه المادة.**

مادة؟

**نعم، إنها عجينة، ذات طعم لذيذ جدًا، بالفعل. فيها ملايين من الكمبيوترات الصغيرة — نسميها المطارِدات — التي تشق طريقها في خلاياك.**

بعضها قد يمر خلالها.

**هذا صحيح، والمطاردات التي تبتعد عن بقية المطاردات الأخرى التي لا تزال في الجسم تُعيد نفسها لا غير. التي بقيت في جسمك تتصل كل منها بالأخرى، وبشبكة المعلومات العالمية.**

شبكة المعلومات العالمية اللاسلكية؟

**نعم، إنها في كل مكان. لذلك أعرف دائمًا مكان وجود طفلي. أمر محكم، أليس كذلك؟**

إذن هل كل شخص يملك ذلك؟

**الأطفال مطلوب منهم ذلك، لذلك أظن أن كل شخص سيكون لديه كل ذلك في النهاية. إنه لدى الكثير من البالغين لكن البالغين يمكنهم إغلاق تحويل المطاردة إذا رغبوا في ذلك.**

ولا يمكن للأطفال فعل ذلك؟

**إلغاء المطاردات هو أمر نستطيع حقًا إبعاد أطفالنا عنه.**

لذلك لم يصل جيريمي إلى أي برمجيات لإلغاء المطارد؟

**أتمنى بالتأكيد أنه لم يفعل ذلك. ورغم هذا، فكر في الموضوع، كان لدينا توقف في المطاردات العام الماضي. وقال الفني أنه كان تناقض مؤقت في البروتوكول. أشك في أن جيريمي هو الذي فعل ذلك. لكن الآن تراني منزعجة.**

أشك في أن جيريمي قد يفعل ذلك.

**أعتقد أنك على حق.**

هذا الفني كان من البشر؟

**لا، لم تكن المشكلة جادة إلى هذا الحد. نحن نستخدم فني من المستوى ب.**

فهمت. إذن هل زوجك متصل بنظام المطاردة؟

**نعم، لكنه يغلقه كثيرًا، وهو أمر مزعج.**

حسنًا، يحق للأزواج بعض الخصوصية، ألا تعتقدين ذلك؟

**نعم، بلا شك.**

إذن، هل هناك أقارب آخرون ترغبين في أن تحكي لي عنهم؟

**هناك ابن أختي ستيفين وهو في الخامسة والعشرين من العمر. إنه يفضل الوحدة إلى حد ما، وأعرف أن أختي قلقة من أحواله. إنه يقضي كل وقته تقريبًا إما في اللمس الشامل أو في وضع إغلاق عرض الواقع الافتراضي.**

هل هذه مشكلة؟

**ليس الأمر أنه يغلق العالم الافتراضي، لكن يبدو عليه كما لو كان يتجنب التفاعل مع الناس الحقيقيين، حتى في الواقع الافتراضي. يبدو ذلك مشكلة متزايدة الانتشار.**

أظن أن البشر الموجودين بالمحاكاة أكثر تكيفًا.

**قد يكونون كذلك. أنا أعنى، أن المساعدين لي ورفاقي هم كذلك، لكن حاول التعامل مع مساعدي الناس الآخرين، سيكون ذلك أمرًا مختلفًا. وعلى أية حال، كانت أختى تخبرني كيف ظنت أن ستيفين كان عذراء سبرانية، أم هل تقول عذراء افتراضية؟**

أوه عزيزتي، الآن كيف كان التمييز من جديد؟

**أنت تعرف، العذراء السبرانية لم يكن لها أبدًا علاقات تبادلية خارج الواقع الافتراضي، بينما العذراء الافتراضية لم يكن لها علاقات تبادلية أبدًا مع شخص حقيقي، حتى في الواقع الافتراضي.**

ماذا عن شخص لم تكن له علاقة حميمة مع شخص حقيقي أو شخص موجود بالمحاكاة في الواقع الحقيقي أو الافتراضي؟

**همممم، يبدو أنه ليس لدينا مصطلح لذلك.**

إذن ماذا عن الإحصائيات حول هذا الأمر؟

**حسنًا، دعني أر، سوف يوضح جورج ذلك لنا.**

هل جورج هو مساعدك الافتراضي؟

**نعم، لقد اكتشفت هذا بسرعة.**

يا سلام! شكرًا.

**في الواقع، بالنسبة للبالغين فوق خمسة وعشرين عامًا، ١١ بالمائة عذارى افتراضيين، و١٩ بالمائة عذارى سبرانيين.**

بناء على ذلك أخمن أن الجنس الافتراضي أصبح شائعًا. ماذا عنك أنت وبن؟

**حسنًا، أنا قطعًا أفضل الشيء الحقيقي!**

حقيقي، مثل في ...

**الواقع الحقيقي، هذا صحيح.**

إذن أنت تفضلين العلاقة الحميمة في الواقع الحقيقي، أي أنك لا تتجنبين البديل الافتراضي؟

**حسنًا، إنه قائم هناك، أعني علينا أن ننعزل لنتجنبه. إنه ملائم بالتأكيد إذا كنت في سفر، أو إذا كنا لا نرغب في القلق من تحديد النسل.**

أو الأمراض التي تُنقل بالجنس STDs.

**حسنًا، لن تكون تلك هي القضية.**

نعم، لن تعرفي أبدًا.

**حسنًا، بصراحة تامة، الجنس الافتراضي أكثر إشباعًا بكثير من جوانب كثيرة. أعني أنه قطعًا أكثر عاطفية، مدهش إلى حد ما بالفعل.**

هذا في مركز الحسيات، كما أفترض.

**نعم، بالتأكيد هذا النموذج الحديث استجاب لما يتعلق بحاسة الشم.**

تعنين أنه له قدرة على الشم؟

**صحيح. أنها حاسة تختلف قليلًا عن الحواس الأخرى، مع ذلك. مع الحاسة البصرية والسمعية، مجرد الواقع الافتراضي القديم غير المعقد الموجود في كل مكان وفي جميع الأوقات مضبوط تمامًا. في مركز الحسيات، نحصل على البيئة اللمسية، التي تسمح أيضًا بإعادة تكوين تشبه الحياة إلى حد بعيد. لكن لا يمكننا أن نحصل حتى الآن على نفس الشيء بالنسبة لحاسة الشم. لذلك قام مركز الحسيات ٢٠٠٠ ببرمجة الروائح المميزة، التي يمكنك اختيارها، أو التي يتم اختيارها بشكل آلي خلال ممارسة ما. إنها لا تزال فعالة إلى حد ما.**

ما شعورك نحو زوجك عندما يتفاعل جنسيًّا مع رفيقة موجودة بالمحاكاة؟

**أنت تعني، شخصية موجودة بالمحاكاة في الواقع الافتراضي؟**

نعم، في الواقع الافتراضي أو في مركز الحسيات.

**هذا أمر محدد. ليس لديَّ مشكلة في ذلك.**

لا تهتمين؟

**ليس هناك في الحقيقة طريقة يمكنني من خلالها مراقبة ذلك.**

أحمر شفاه افتراضي على ياقة ثوبه مثلًا؟

**نعم، صحيح، على ياقة ثوبه الافتراضية. الجنس الافتراضي مع رفيقة موجود بالمحاكاة أمر مقبول بشكل عام في أيامنا هذه. يعتبر بالفعل كنوع من النزوات ــ إنه مجرد نزوة تتلقى مساندة.**

ماذا لو أن الرفيق شخص حقيقي في الواقع الافتراضي؟

**أحطم رجليه.**

رجليه الافتراضيتين؟

**ليس هذا ما أفكر فيه.**

إذن ما الاختلاف بين شخص حقيقي في الواقع الافتراضي والشخص الموجود بالمحاكاة؟

**باعتبارهما رفيقان حسيان؟**

نعم.

**أوه، هناك اختلاف – الرفيق الموجود بالمحاكاة جيد إلى حد ما، لكن فقط ليس الأمر هو نفسه.**

يبدو من ذلك أن لديك بعض التجارب في هذا المجال أنت نفسك.

**أنت فضولي إلى حد ما، ألست كذلك؟**

حسنًا، سوف أغير الموضوع. دعينا نعرف، أوه، ما الذي يحدث بالنسبة للتشفير؟

**لدينا شفرة ألف بت مستقرة تمامًا. ليس من العملي كسرها.**

ماذا عن الكمبيوتر الكمي؟

**لا يبدو أن الكمبيوتر الكمي سيستقر بأكثر من بضعة مئات بتات كمية qu-bits.**

يبدو كما لو أن الاتصال آمن إلى حد ما.

**يمكنني أن أقول ذلك. لكن بعض الناس لديهم جنون ارتياب من مفاتيح الحزب المعارض.**

إذن فإن السلطات لديها مفاتيح؟

**بالطبع.**

حسنًا، ألا يمكنك فقط وضع طبقة أخرى من التشفير بدون مفتاح على الطبقة الرسمية؟

**يا إلهي، لا.**

لماذا يكون ذلك بهذه الصعوبة؟

**أوه، ليس صعبًا من الناحية التكنولوجيا. إنه فقط غير قانوني بالفعل، بالتأكيد من أكتوبر ٢٠١٣.**

٢٠١٣؟

**استطعنا عبور العقد الأول من هذا القرن بدون مشاكل شديدة الصعوبة. لكن الأمور خرجت عن السيطرة في حادث أو كلاهما.**

أو كلاهما مرة أخرى: إذن هل كانت مشكلة فيروس برمجيات؟

**لا، ليس فيروس برمجيات، إنه فيروس بيولوجي. طالب مثير للاستياء، قد أقول معتوه، بالفعل كان طالبًا في الجامعة هناك. ويُروى أنه كان مرتبطًا بحركة تذكّر يورك Remember York، لكن قادة حوار الحركة أنكروا بشدة أية مسئولية عليهم.**

تذكّر يورك؟

**حسنًا، وقعت هذه الحادثة في الذكري السنوية المائتين لمحاكمات يورك.**

أوه، أتقصدين محاكمة محطمي الآلات في ١٨١٣؟

**نعم، باستثناء أن أغلب المعادين للتقنية لا يحبون في هذه الأيام مصطلح محطمي الآلات، ويشعرون بأنه تصوير سخيف إلى حد ما لنيد لود تحط من قيمة الطبيعة الجادة لحركتهم. ويضاف إلى ذلك، أن أفضل الأدلة توحي بأنه لم يكن هناك أبدًا هذا الشخص الذي يسمى لود.**

لكن كانت هناك محاكمة في ١٨١٣.

**نعم، والتي كانت نتيجتها أن الكثير من أعضاء عصابة منظمة الذين تم اتهامهم بتدمير آلات النسيج، حُكم عليهم بالإعدام شنقًا أو بالنفي.**

إذن حركة تذكّر يورك كانت منظمة؟

**أوه، لم أقل ذلك. إنها ليست سوى مجموعة حوار على الشبكة العالمية، ومن الواضح أن هذا الشاب شارك في بعض هذه الحوارات. لكن أشخاص تذكّر يورك هم من الناحية الأساسية غير مؤمنين بالعنف. كانوا متألمين من أن روبرتس ضم نفسه إليهم.**

هل كان روبرتس هو المجرم؟

**نعم، مُدان حسب كل الاعتبارات. لكن فضلًا عن هذا الفرد، يمكن القول بأنه كان حقًا قلة تقدير من بي.دبليو. إيه. BWA.**

بي.دبليو.إيه؟

**وكالة الحرب الحيوية Biowarfare Agency.**

إذن كان هذا فيروس الذي تم إطلاقه؟

**نعم، مجرد فيروس إنفلونزا معدل عادي. كان هناك تطور غير متوقع. كان للفيروس معدل طفرات متزايد بدرجة كبيرة، وهو ما جعل تطوره يتسارع على مستويات**

**متعددة. وهو نوع من تطور الفيروس الذي لا يحدث سوى في حالة المرض المعدي. هذا مع برنامج قنبلة موقوتة في دي إن إيه الفيروس، أدت إلى تكاثر بالغ السرعة للفيروسات بعد عدة ساعات من العدوى. وهذا التعقد البسيط جعل تطوير العلاج الشافي يتأخر ثمانية وأربعين ساعة. لكن هذا لم يكن أسوأ ما في الأمر. بعد أربع وعشرين ساعة من استنساخ هذا العلاج، اكتشفت وكالة الحرب الحيوية أن عاملًا بيولوجيًا آخر نقل العدوى إلى مجموعة التعليمات لذلك كان عليهم البدء من جديد. عندئذ، لم تكن هناك محطات استنساخ كافية، لذلك كان عليهم تنظيف تلك المجموعات التي تم استخدامها من قبل، واستمروا في ذلك. ضاعت ثمانية وأربعين ساعة من الإخفاق التام، ومات ستة عشر ألف شخص. حسنًا، لو أن الأمر كان قد تأخر أربع وعشرين ساعة أخرى، لكان الأمر أسوأ بكثير. كانت قضية ضخمة في انتخابات منتصف الفترة الرئاسية في ٢٠١٤. وحدثت تغييرات كثيرة منذ ذلك الحين.**

وماذا عن مفاتيح حزب المعارضة؟

**نعم، الذين كانوا موجودين من قبل. لكن منذ ٢٠١٣ تم بصرامة تعزيز القوانين ضد التشفير بدون مفاتيح.**

ما الذي تغير أيضًا؟

**هناك الآن الكثير من محطات استنساخ مضادات الفيروسات. ولدينا جميعًا أقنعة الغاز تلك الجذابة إلى حد ما.**

هل هذه الحلقة الصغيرة قناع غاز؟

**نعم، حسنًا، يتم فتحها هكذا. إنها صغيرة وهذا يشجعنا على الاحتفاظ بها مغلقة جاهزة. إنه بالفعل قناع شاشة فيروسية. أحيانًا، يُطلب منا أن نضعها، لكن بشكل عام يتم ذلك فقط لعدة ساعات. ومنذ ٢٠١٣، كانت هناك فقط إنذارات خاطئة.**

لذلك أظن أن وكالات الأمن كانت تقوم بعمل شاق.

**كما تعود ويل روجرس Will Rogers أن يقول، «لا يمكنك القول بأن الحضارة لم تتقدم، حيث إنه في كل حرب يقتلونك بطريقة جديدة.»**

يبدو أن ٢٠١٣ كانت سنة مأساوية، ومرعبة. ومع ذلك، فإنه بمرور القرون لا يبدو الأمر كما لو أنك تعمل بشكل بالغ السوء. في القرن العشرين، كنا نعرف كيف نحصل على كوارث.

**نعم، خمسون مليون شخص ماتوا في الحرب العالمية الثانية.**

بالفعل.

**وإنها لحقيقة أن هذا القرن حتى الآن أقل دموية بكثير. لكن الجانب الآخر من العملة هو أن التقنيات أكثر قوة بكثير في الوقت الراهن. إذا حدث خطأ ما، قد تخرج الأمور عن السيطرة بسرعة كبيرة. مع الهندسة الجينية، على سبيل المثال، يبدو الأمر إلى حد ما كما لو أننا نحن العشرة مليارات نسمة نقف في حجرة وسائل قابل للاشتعال يغطينا حتى الركب، ننتظر شخصًا ما ــ أي شخص ــ لإشعال عود ثقاب.**

لكن يبدو الأمر كما لو أنه تم وضع الكثير من أجهزة إطفاء الحرائق.

**نعم، فقط أتمنى أن تعمل.**

أنت تعرفين، كنت قلقًا من التأثير الجانبي للهندسة الجينية لأكثر من عقد حتى الآن.

**لكنك لم تكتب عنها في «عصر الآلات الذكية»، الذي كتبته في أواخر الثمانينيات.**

كان هذا قرارًا واعيًا. لم أرغب في أعطي أية أفكار للشخص غير المناسب.

**وفي ١٩٩٩؟**

أوه، السر مفضوح الآن.

**نعم، حسنًا، لقد كنا نعدو خلف هذا السر خلال العقدين الماضيين، نحاول إبعاده عن التسبب في أذى أكثر ضخامة.**

انتظري فقط حتى تنجح مولدات المرض النانوية.

**لحسن الحظ أنها لا تستنسخ نفسها ذاتيًا.**

ليس بعد.

**أتوقع أن ذلك سيحدث أيضًا، لكن عجينة المطاردة والتطبيقات الأخرى لبضع تقنيات نانوية موجودة حاليًا مصنوعة باستخدام طباعة ليثوغرافية بالأشعة السينية وتقنيات صناعية تقليدية أخرى.**

حسنًا، كفى كوارث، ماذا ستعملين هذه الليلة؟

**سوف ألقى محاضرة حول تجربتي عن الأسبوع الأخير بصفتي محكِّمة اختبار تورينج.**

افترض أن الكمبيوتر رسب.

**نعم، رسبت. لكنها لم تكن بقفزة وضع الكرة في السلة كما توقعت. في البداية، كنت أفكر، يا للعجب، الأمر أصعب مما توقعت. بالفعل لا أستطيع أن أقول أيهما الكمبيوتر، أو من هو الإنسان الذي يحبط الكمبيوتر. بعد نحو عشرين دقيقة، أصبح الأمر واضحًا تمامًا أمامي، وأنا سعيدة بأنه كان لدي الوقت الكافي. قلة من المحكمين الآخرين لم يكونوا يتصورون ذلك، لكنهم لم يكونوا حاذقين جدًّا.**

أظن أن خلفيتك في الاتصالات كانت نافعة.

**بالفعل الأكثر من ذلك كانت خلفيتي كأم. كنت مرتابة عندما بدأت تشيلا ـــ التي كانت الكمبيوتر ـــ تتكلم عن غضبها الشديد من ابنتها. لم يكن ذلك مقنعًا بالنسبة لي. إنها فقط لم تكن متعاطفة بما فيه الكفاية.**

وماذا عن جورج، كيف تدبر أمره في اختبار تورينج؟

**أوه، لم أكن أريد تعريض جورج لذلك.**

أنت قلقة حول مشاعره؟

**أظن يمكنك أن تقول ذلك. إنه السير ذهابًا وإيابًا. أحيانًا، أفكر في أنني لست كذلك. لكن عندما أتفاعل معه، أجد نفسي أتفاعل كما لو أنه لديه مشاعر. وأحيانًا أفكر مقدمًا في أن أقول له شيئًا جربته، وخاصة إذا كنا نفعله معًا.**

أرى أنك حصلت على مساعد ذكري.

**بلا شك، توقعك بأن النساء يفضلن الشخصيات النسائية كان إخفاقًا آخر.**

كان هذا التنبؤ عن ٢٠٠٩، وليس ٢٠١٩.

**أنا سعيدة بأنك أوضحت ذلك. انتبه لذلك، لقد استخدمت شخصية نسائية في ٢٠٠٩، لكنهن لم يكن واقعيات حينئذ. على أية حال، عليَّ أن أذهب إلى محاضرتي. لكن إذا فكرت في أي شيء آخر من المهم أن أخبرك به، سأجعل مساعدي الافتراضي يتصل بمساعدك.**

حسنًا، ليس لديَّ مساعد، تذكري أنني مغروز في ١٩٩٩.

**سيئ جدًّا. أظن أن عليَّ عندئذ أن أزورك بنفسي.**




«الشرائح الأصغر والأكثر قوة تسمح بأن يكون لديَّ رأس أصغر»



الفصل الحادي عشر

# ٢٠٢٩

أنا مغرم بجسمي كأي شخص آخر، لكن إذا استطعت أن يمتد عمري إلى ٢٠٠ سنة بجسم من السليكون، سوف أقبل ذلك.

داني هيليس Danny Hillis

## الكمبيوتر نفسه

وحدة حوسبة بسعر ١٠٠٠ دولار (تقريبًا بأسعار دولارات ١٩٩٩) تماثل قدرة الحوسبة فيها نحو ١٠٠٠ مخ بشري (١٠٠٠ مرة ٢٠ مليون مليار — أي ضعف ١٩١٠ — عملية حسابية في الثانية).

بقدرة الحوسبة الكلية للجنس البشري (أي كل أمخاخ البشر) مضاف إليها تقنية الحوسبة التي بدأ البشر إبتكارها، هناك ٩٩ بالمائة منها غير بشري.[1]

والأغلبية العظمى من «العمليات الحسابية» للحوسبة غير البشرية تقوم الآن بإدارة شبكات عصبية هائلة التوازي، يعتمد أغلبها على الهندسة العكسية للمخ البشري.

تم «حل شفرة» الكثير — وليس الأغلبية — من المناطق المتخصصة في المخ البشري وكذلك خوارزمياتها هائلة التوازي. وعدد المناطق المتخصصة، الذي يصل إلى المئات — أكبر مما تم التنبؤ به منذ عشرين سنة. ويتم استخدام التكوينات الطوبولوجية والبنيوية لهذه المناطق التي تمت هندستها العكسية بنجاح، في الشبكات العصبية المعتمدة على الآلة.

وبعد ذلك أصبحت الشبكات المعتمدة على الآلة أكثر سرعة وذات حوسبة أكبر وسعات ذاكرة وتحسينات أخرى مساوية لما يماثلها لدىً البشر.

وأجهزة العرض مزروعة الآن في العيون، مع خيار زراعات دائمة أو زراعات قابلة للنزع (مثل العدسات اللاصقة). وتبرز الصور مباشرة في الشبكية لتتيح التغطية المعتادة عالية الوضوح في الأبعاد الثلاثة للعالم الطبيعي. وتعمل أجهزة العرض البصري المزروعة هذه أيضًا باعتبارها كاميرات لالتقاط صور بصرية بذلك تكون أجهزة مدخلات ومخرجات.

وزراعات قوقعة الأذن، التي كانت تُستخدم في الأصل لمن يعانون من إعاقة سمع، موجودة الآن في كل مكان وكل وقت. وتسمح هذه الزراعات باتصال سمعي في كلا الاتجاهين بين المستخدم البشري وشبكة الحوسبة في كل العالم.

تم إنجاز مسارات عصبية مباشرة للاتصال في نطاق عالي التردد بمخ الإنسان. وهذا يسمح بتجنب مناطق عصبية معينة (على سبيل المثال، نمط التمييز البصري، وذاكرة المدى البعيد) وزيادة أو تغيير وظائف هذه المناطق لتحل محلها حوسبة وافية إما في زرعة عصبية أو من الخارج.

وأصبحت مجموعة متنوعة من الزراعات العصبية متاحة لتعزيز الإدراك والتفسير البصري والسمعي والذاكرة، والتفكير المنطقي.

يمكن أن تكون معالَجات الحوسبة شخصية (يمكن الدخول إليها عن طريق فرد واحد)، أو مشتركة (يمكن لمجموعة أن تدخل إليها)، أو عامة (يمكن لأي شخص الدخول إليها)، حسب اختيار المستخدم.

أجهزة إبراز عروض الصور المجسمة موجودة في كل مكان.

الآن لدى الروبوتات المجهرية المصنعة بالهندسة النانوية أمخاخ بالغة الصغر بسرعة حوسبة وسعة المخ البشري. ويتم استخدامها على نطاق واسع في التطبيقات الصناعية وبدأ استخدامها في التطبيقات الطبية (انظر «الصحة والطب»).

## التعليم

تم أولًا استكمال التعليم البشري باستخدام المدرسين الافتراضيين ثم تم تعزيزه بالزراعات العصبية المتاحة على نطاق واسع. وتقوم الزراعات بتحسين الذاكرة والإدراك، لكن ليس من الممكن بعد إنزال المعارف مباشرة. ورغم تعزيزها من خلال الممارسات الافتراضية، لا

تزال البنية التفاعلية الذكية، والزراعات العصبية، والتعليم تتطلب استغراق وقت طويل في الممارسة والدراسة البشرية. ويتضمن هذا النشاط أن يكون مركز الاهتمام الأساسي هو الجنس البشري.

يتعلم المندوبون الآليون بأنفسهم دون تلقينهم المعلومات والمعارف من البشر. قرأت الكمبيوترات كل الأدب المتاح الذي أنتجه البشر والآلة وكل مواد الوسائط المتعددة، التي تتضمن الأعمال المكتوبة، والمسموعة، والمرئية والممارسات الافتراضية.

تم ابتكار معارف جديدة مهمة بواسطة الآلات بقليل من أو بدون تدخل البشر. وفي ما لا يشبه البشر، تتقاسم الآلات بسهولة أشكال المعارف مع بعضها البعض.

## الإعاقات

شيوع أجهزة الإرشاد البصري عالية الذكاء للعميان، وأجهزة عرض من الكلام للمطبوعة للصم، ومحاكاة العصب، وبدائل تقوي الاعوجاج للمعاقين جسديًا، وتشكيلة من تقنيات الزراعة العصبية، أدت من الناحية الأساسية إلى التخلص من العاهات المصاحبة لأغلب الإعاقات. وفي الواقع، تُستخدم أجهزة التعزيز الحسية بواسطة أغلب الناس.

## الاتصال

بالإضافة إلى وجود البيئات الافتراضية في الأبعاد الثلاثة في كل مكان وفي كل وقت، كان هناك تحسين كبير لتقنية الصور المجسدة في الأبعاد الثلاثة للاتصال البصري. وهناك أيضًا نقل للاتصال الصوتي لوضع الأصوات بدقة في فضاء الأبعاد الثلاثة. وفي ما يشبه الواقع الافتراضي، ليس هناك أيضًا نظير طبيعي للكثير مما تتم رؤيته أو سماعه في الواقع «الحقيقي.» لذلك يمكن لأعضاء الأسرة أن يجلسوا في حجرة المعيشة يتمتعون بصحبة كل منهم الآخر دون أن يكونوا على قرب مادي.

ويضاف إلى ذلك، هناك استخدام ضخم للاتصال باستخدام الوصلات العصبية المباشرة. وهذا يتيح وجود اتصال افتراضي كامل التغطية اللمسية بدون الدخول في «الإحاطة اللمسية الكاملة» كما كان ضروريًا منذ عشر سنوات.

لا تتضمن أغلب الاتصالات البشر. وأغلبية الاتصالات التي تتضمن البشر تكون بين إنسان وآلة.

## الأعمال والاقتصاد

استقر تعداد البشر على حجم نحو ١٢ مليار شخص حقيقي. والضروريات الأساسية من الطعام والمسكن والأمن متاحة للأغلبية الساحقة من السكان البشر.

يركز الذكاء الإنساني وغير الإنساني أساسًا على ابتكار المعارف في أشكالها التي لا تعد ولا تحصى، وهناك نزاع قوي حول حقوق الملكية الفكرية، بما في ذلك مستويات التقاضي المتزايدة إلى أقصى درجة. ليس هناك تقريبًا أي عمالة في الإنتاج، والزراعة، والنقل. وأكبر مهنة هي التعليم. وهناك محامون أكثر بكثير من الأطباء.

## السياسة والمجتمع

اعتبرت السلطات البشرية وغير البشرية أن الكمبيوترات التي اتضح أنها تنجح في اختبار تورينج لها شرعية، مع أن الجدال حول هذه الفكرة لا يزال مستمرًّا. ومن الصعب ذكر القدرات البشرية التي تعجز عنها الآلات. وفي ما لا يشبه الكفاءة البشرية، التي تختلف من شخص إلى آخر، تقوم الكمبيوترات بعملها بشكل متماثل على أفضل المستويات وهي قادرة على تقاسم مهاراتها ومعارفها بعضها مع بعض.

ولم يعد هناك فاصل واضح بين العالم البشري وعالم الآلات. تم نقل الإدراك البشري إلى الآلات، ولدى الكثير من الآلات أسس وجود ذاتي، ومهارات، ومعارف ناشئة عن الهندسة العكسية للذكاء البشري. بالعكس، تتيح الزراعات العصبية القائمة على ذكاء الآلة تعزيزًا إدراكيًّا ووظائفية معرفية للبشر. وتعريف ما يعيِّن ماهية الإنسان يظهر باعتباره قضية قانونية وسياسية مهمة.

والنمو المتسارع لقدرة الآلات مثار للجدل، لكن ليس هناك مقاومة فعالة له. وحيث إن ذكاء الآلة جرى تصميمه في البداية لكي يكون خاضعًا لتوجيه البشر، فإنه لم يمثل «مظهر» تهديد للسكان البشر. ويدرك البشر أن تحرير حضارة «الإنسان - الآلة» الحالية من اعتمادها على ذكاء الآلة أمر غير ممكن.

ويتنامى الحوار حول الحقوق القانونية للآلات، خاصة تلك الآلات المستقلة عن البشر (التي ليست مغروسة في المخ البشري). ورغم عدم الإقرار القانوني الكامل بالتأثير النافذ للآلات على كل مستويات اتخاذ القرار، فإن هذا التأثير يتيح حماية كبيرة للآلات.

### الفنون

لم يعد الفنانون السبرانيون في كل الفنون ــ الموسيقية، والبصرية، والأدبية، والممارسة الافتراضية، وكل ما خلاف ذلك ــ يحتاجون إلى الانضمام بأنفسهم إلى البشر والمنظمات التي تتضمن البشر. والكثير من الفنانين الرواد آلات.

### الصحة والطب

استمر التقدم في فهم وتحسين تأثيرات التقدم في العمر نتيجة للفهم الكامل لعمليات معالجة المعلومات التي تتحكم فيها الشفرة الوراثية. واستمر متوسط عمر البشر في الارتفاع وهو الآن نحو ١٢٠ سنة. وهناك اهتمام كبير بالعواقب النفسية للزيادة الكبيرة في متوسط عمر الإنسان.

وهناك إدراك متزايد بأن الامتداد المستمر في متوسط عمر الإنسان سوف يتضمن المزيد من استخدام الأعضاء الإلكترونية الحيوية، بما في ذلك أجزاء من المخ. ويتم استخدام أجهزة النانوبوت كأجهزة استكشاف، وإلى مدى محدود كعوامل إصلاح في مجرى الدم، ولبنات بناء للأعضاء الإلكترونية الحيوية.

### الفلسفة

مع أن الكمبيوترات تنجح عادة كما يبدو في الأنواع الشرعية من اختبار تورينج، ظل هناك جدال حول ما إذا كان ذكاء الآلة أو لم يكن متساويًا مع الذكاء البشري في كل تنوعاته. وفي نفس الوقت من الواضح أن هناك طرقًا كثيرة من خلالها يكون ذكاء الآلة أعلى بكثير من ذكاء الإنسان. ولأسباب تعود إلى حساسية سياسية، لا تُبرز حالات ذكاء الآلة تفوقها. ويصبح التمييز بين ذكاء الإنسان وذكاء الآلة غامضًا كلما كان ذكاء الآلة ناشئًا إلى حد بعيد عن تصميم ذكاء الإنسان، وكلما كان تعزيز الذكاء الإنساني بشكل متزايد يتم بواسطة ذكاء الآلة.

ويتم تقبل التجربة الذاتية لذكاء الآلة بشكل متزايد، خاصة منذ مشاركة «الآلات» في هذا الحوار.

وتدَّعي الآلات أنها واعية وأن لديها مجموعة من العواطف والتجارب الروحية بنفس اتساع ما لدى البشر الذين أوجدوها، وتُقْبَل هذه الادعاءات في أغلب الأحيان.

**أتمنى أنك قد قضيت وقتًا طيبًا وأنت تجمع كل هذه الإسنادات.**

هذا الجزء من الكتاب أكثر تسلية في كتابته ــ على الأقل هناك مراجع أقل للبحث عنها. وليس عليَّ أن أقلق بخصوص أن أكون مرتبكًا في بضع عقود على الأقل.

**حسنًا، قد يكون أكثر سهولة لو أنك فقط سألتني عن انطباعاتي.**

نعم، كنت على وشك فعل ذلك. لكن عليَّ أن أقول، إنك تبدين في حالة طيبة جدًّا.

**بالنسبة لسيدة عجوز.**

لم أعتقد أنك عجوز. لكن لا تبدين بأية درجة أنك تقتربين من الخمسين. يبدو أكثر أنك في الخامسة والثلاثين.

**نعم، حسنًا، الخمسون لم تعد تعتبر تقدمًا في العمر كما كانت عادة.**

نشعر بمثل هذه الطريقة في ١٩٩٩، أيضًا.

**لا زال من المفيد التمتع بالحماسة المناسبة. لدينا أيضًا بعض الأحداث الغريبة التي ليست لديكم.[٢]**

أجساد بالهندسة النانوية؟

**لا، ليس بالضبط، التكنولوجيا النانوية لا تزال محدودة تمامًا. ساعدت الهندسة الجينية أكثر بالتأكيد. جُعِلَ التقدم في العمر أبطأ بشكل أكثر إثارة. يمكن منع أغلب الأمراض أو إلغاؤها.**

إذن هل لا تزال التكنولوجيا النانوية بدائية تمامًا؟

**لقد قلت ذلك. أعني، لدينا بالفعل أجهزة نانوبوت في مجرى دمائنا، لكنها تشخيصية من الناحية الأساسية. لذلك عندما يبدأ أي شيء في الانحراف، نتعامل معه بشكل مبكر جدًّا.**

إذن لو اكتشف نانوبوت عدوى مجهرية أو أي تطور لمشكلة أخرى، ما الذي يفعله، مجرد البدء في إصدار الصرخات؟

**نعم، هذا ما يخصه. أعتقد أننا لا نثق فيه لكي يقوم بأي عمل آخر. إنه يصرخ متوجهًا إلى شبكة المعلومات العالمية، ومن ثم يتم الاهتمام بالمشكلة عندما نخضع لعملية المسح اليومية التالية.**

مسح في الأبعاد الثلاثة؟

**بالطبع، لا يزال لنا أجساد في الأبعاد الثلاثة.**

وهل هذا مسح تشخيصي؟

**للمسح وظيفة تشخيصية. لكنه أيضًا علاجي. يمكن للماسحة أن تستعمل طاقة كافية لمجموعة صغيرة من النقاط في الأبعاد الثلاثة لتدمير مستعمرة مولدات أمراض أو خلايا مثيرة للجدل قبل أن يفلت زمام الأمر.**

هل هذا شعاع كهرومغناطيسي، أم شعاع جسيم، أم ماذا؟

**حسنًا، يمكن لجورج أن يشرح ذلك أفضل مني. كما أفهم، فإن لديها أشعة طاقة من نوعين وهي أشعة حميدة في حد ذاتها، لكنها تسبب انبعاثات جسيم عند النقطة التي تعبرها. سوف أسأل جورج عندما أراه في المرة القادمة.**

متى سيحدث ذلك؟

**أوه، بمجرد أن ينتهي لقائي معك.**

أنت لا تحمليني على الإسراع، أليس كذلك؟

**أوه، ليس هناك استعجال. إنها لفكرة جيدة دائمًا أن نصبر.**

هممم. إذن متى كانت آخر مرة كنتما معًا؟

**منذ بضع دقائق.**

فهمت. يبدو أن علاقتكما تطورت.

**أوه، هذا هو الأمر بالفعل. إنه يعتني بي بشكل طيب.**

في المرة الماضية تكلمنا، ولم تكوني متأكدة مما إذا كان لديه أية مشاعر.

**كان هذا منذ وقت طويل مضى. جورج شخص مختلف كل يوم. أنه فقط ينمو ويتعلم باستمرار. إنه يقوم بإنزال أية معارف يرغب فيها من شبكة المعلومات العالمية وتصبح جزءًا منه. إنه على درجة كبيرة من الذكاء والعاطفية، وروحاني جدًا.**

أنا سعيد جدًّا من أجلك. لكن ما الذي يشعر به بِين تجاهك أنت وجورج؟

**لم يكن مهتاجًا بشدة تجاه ذلك، هذا أمر مؤكد.**

لكن ألم تدبرا الأمر؟

**لقد دبرناه، هذا صحيح. لقد انفصلنا منذ ثلاث سنوات مضت.**

أنا آسف لسماع ذلك.

**حسنًا، سبعة عشر سنة فوق المتوسط قطعًا، كما يحدث في الزيجات في أيامنا هذه.**

لا بد أن ذلك كان أمرًا صعبًا بالنسبة للأطفال.

**هذا صحيح. لكننا نحن الاثنين كنا نتناول العشاء مع إميلي كل ليلة تقريبًا.**

كل منكما يتناول العشاء مع إميلي، ولكن ليس مع بعضكما، أليس كذلك؟

**إميلي لا ترغب بالتأكيد في تناول العشاء معنا معًا، قد يكون ذلك غير مريح تمامًا، عندئذ هل نفعل ذلك؟ لذلك تتناول العشاء مع كل منا منفردًا.**

فهمتُ، مائدة المطبخ القديمة اللائقة. حينئذ ليس عليك التعامل مع هاري هيبو أو مس سيمون، هناك فرصة لك وبين وإميلي، لكنكما لا تريان بعضكما البعض بالفعل.

**أليس العالم الافتراضي عظيم؟**

نعم، لكن الأشخاص السيئين لا يلمسون بعضهم بعضًا دون الذهاب إلى مركز الحسيات.

**فعلًا، مركز الحسيات انتهي كمكان للأعمال.**

حسنًا، عندئذ، اللمس الشامل.

**لم نعد في حاجة إلى الذهاب إلى بيئة اللمس الشامل، على الأقل منذ أصبحت الزراعات النخاعية متاحة.**

إذن لقد أضافت هذه الزراعات البيئة اللمسية ...

**بالنسبة للبيئات البصرية والسمعية في كل مكان وفي كل وقت، فإنها لدينا منذ سنوات كثيرة مع الواقع الافتراضي، هذا صحيح.**

يبدو الأمر كما لو أن الزراعات لا غنى عن انتشارها إلى حد ما.

**لا، أنها جديدة بعض الشيء. تقريبًا كل شخص لديه الآن البيئات البصرية والسمعية، إما كزراعات أو على الأقل كعدسات بصرية وصوتية. لكن الزراعات الحسية لم تشهد رواجًا بعد.**

مع ذلك فإنها لديك؟

**نعم، إنها مذهلة حقًا. هناك القليل من الخلل، لكنني أحب أن أكون في الطليعة. كان أمرًا مزعجًا جدًا أن تستخدم بيئة اللمس الشامل.**

الآن أستطيع أن أفهم كيف يمكن للزراعات أن تحاكي إحساسك باللمس، بتوليد نبضات العصب التي تناظر مجموعتك الخاصة من المحفزات. لكن بيئات اللمس الشامل تتيح

أيضًا قوة تغذية خلفية قسرية، لذلك إذا كنت تلمسين شخصية افتراضية، لن ينتهي بك الأمر إلى الالتصاق بجسدها.

**حسنًا، بالتأكيد، لكننا لا نحرك أجسامنا الطبيعية في الواقع الافتراضي.**

أنت تحركين جسدك الافتراضي بالطبع. ويمنعك نظام الواقع الافتراضي من تحريك يدك الافتراضية من خلال حاجز — مثل الجسد الافتراضي لشخص آخر — في البيئة الافتراضية. هل يحدث ذلك كله باستخدام الزراعات؟

**صحيح.**

إذن يمكن أن تكوني جالسة هنا تتحدثين معي في الواقع الحقيقي، بينما تكونين في نفس الوقت في علاقة حميمة مع جورج في الواقع الافتراضي، وبكل الواقعية اللمسية الكاملة؟

**نسمي ذلك الواقعية اللمسية، لكنك أدركت الفكرة. ومع ذلك، ليس الفصل اللمسي بين الواقعية الحقيقية والافتراضية تامًا. أعنى، لا تزال تلك تقنية جديدة. لذلك لو أنني أنا وجورج كنا في حالة عاطفية قوية، لكنت قد لاحظت.**

هذا أمر سيء جدًّا.

**ليست مشكلة، مع ذلك، بشكل عام، حيث إنني أجري أغلب مقابلاتي معه بجسم افتراضي، على أي حال. لذلك عندما أكون متململة في هذا الاجتماع الطويل حتى الملل في مشروع التعداد، يمكنني قضاء القليل من اللحظات الخاصة مع جورج ...**

حتى الآن باستخدام جسم افتراضي آخر؟

**بالضبط.**

ومسألة الانفصال اللمسي بين الواقع الحقيقي وأحد أنواع الواقع الافتراضي الخاص بك ليس مشكلة مع وجود جسدين افتراضيين.

**ليس هذا صحيحًا، لكن أحيانًا يضبطني الناس وأنا أبتسم كثيرًا.**

لقد أشرت إلى وجود أنواع من الخلل ...

**أشعر أحيانًا بأن شيئًا ما أو شخصًا ما يلمسني، لكن قد يكون ذلك مجرد تخيلاتي.**

ربما يكون فقط عاملًا من شركة الزراعة العصبية يختبر الجهاز عن بُعد.

**هممم.**

إذن أنت تعملين في التعداد؟

**يُفترض أن يكون ذلك مصدر فخر. أعني أنه يشبه القضية الساخنة حتى الآن. لكنه مجرد سياسات لا تنتهي، واجتماعات لا تنتهي.**

حسنًا، كان التعداد دائمًا يستخدم التكنولوجيا الأكثر فعالية. لقد بدأت معالجة البيانات الكهربائية في ١٨٩٠ في الولايات المتحدة. التعداد، كما تعرفين.

**حدثني عنه. إنه يُذكَر على الأقل ثلاث مرات في كل اجتماع. لكن القضية ليست هي التكنولوجيا.**

إنها .؟

**من هو الشخص. هناك مقترحات بالبدء بإحصاء الأشخاص الافتراضيين على الأقل على المستوى البشري، لكن لا نهاية للمشاكل للتوصل إلى اقتراح قابل للتطبيق. الأشخاص الافتراضيين ليس من السهل إلى هذه الدرجة إحصائهم وتمييزهم، حيث قد يكونوا متوحدين في بعضهم البعض، أو منقسمين إلى شخصيات متعددة ظاهريًا.**

لماذا لا تحصون فقط الآلات الناشئة عن أشخاص محددين؟

**هناك بعض الشخصيات السبرانية التي تدعي أنها متعودة على كونها شخص معين، لكنها في الحقيقية مجرد شخصية وُجدت بعمليات المحاكاة فقط. وببساطة لا تعتقد اللجنة بأن هذا صحيح.**

أوافق على هذا ــ محاكاة الشخصية لا يقسِّمها دون شك. لا بد أن تكون نتيجة مسح عصبي كامل.

**بشكل شخصي، كنت أميل برأيي إلى التوسع في التعريف، لكن لدي صعوبة ظهرت مع علم المنهج المحكم. وافقت اللجنة على النظر في المشكلة من جديد عندما تم التوسع في المسح العصبي إلى أغلبية المناطق العصبية. أنها قضية وعرة، بالرغم من ذلك. هناك أشخاص تتم الأغلبية الساحقة من عمليات الحوسبة العقلية لديهم في زراعاتهم المكونة من أنابيب نانوية. لكن يبدو أن السياسة تتطلب على الأقل بعض الركائز الأصلية غير المعزَزة حتى تُأخذ في الحسبان.**

ركيزة أصلية؟ تعنين عصبونات بشرية؟

**صحيح. إذا لم تُوجب بعض التفكير القائم على العصبون، يصبح من المستحيل دون شك أن تحصي العقول المميزة. وعلى الرغم من ذلك تحاول بعض الآلات أن تدخل**

**في الإحصاء. يبدو أنها تتمتع بترسيخ هوية بشرية وأن تُعتبر بشرًا. إنها جزء من مباراة.**

لا بد أن تكون هناك فوائد قانونية للحصول على هوية بشرية مميزة.

**هناك نوع من التعادل. لا يزال النظام القانوني القديم يحتم وجود عامل بشري للمسئولية. لكن نفس القضية حول ماهية الإنسان تظهر في السياق القانوني. وعلى أي حال، فإن ما يسمى بالقرارات البشرية يتأثر بشدة بالزراعات. ولا تنفذ الآلات قرارات مهمة دون مراجعتها الخاصة. لكنني أظن أنك على حق، هناك بعض الفوائد يجب وضعها في الحسبان.**

ماذا عن استخدام اختبار تورينج كوسيلة يتم أخذها في الحسبان؟

**لن ينجح ذلك أبدًا. أولًا، لن تكون أكثر من تقييم تمهيدي. ويضاف إلى ذلك، قد تكون لديك المشكلة من جديد في اختيار مُحكِّم بشري لإجراء اختبار تورينج. ولا يزال لديك قضية الإحصاء. خذ جورج، على سبيل المثال. إنه عظيم في الانطباعات. عادة، بعد العشاء مباشرة، سوف يرفه عني ببعض الشخصيات التي اختلقها. ويمكنه أن يخضع لآلاف من الشخصيات إذا أراد ذلك.**

في الكلام عن جورج، ألا يريد أن يدخل في الإحصاء؟

**أوه، أظن أنه يريد ذلك. أنه أكثر حكمة وتهذيبًا بكثير عن أي شخص آخر في اللجنة. وأظن أن ذلك كان وراء رغبتي في التوسع في التعريف. يمكن لجورج أن يدبر أمر تأسيس أصل الهوية المطلوبة إذا أراد ذلك. لكنه في الحقيقية لا يهتم بالأمر.**

يبدو أنه يهتم أكثر بك.

**هممم. قد يكون الأمر كذلك.**

يبدو عليك أنك محبطة بعض الشيء من اللجنة.

**حسنًا، أدرك حاجتهم إلى الحذر. أنا فقط أشعر بأنهم متأثرين بإفراط بجماعات RY.**

محطمو الآلات، أعني تذكَّر يورك ...

**بالضبط، أنا متعاطفة مع الكثير من أمور يورك. لكنهم اتخذوا مواقف حادة تجاه الزراعات العصبية، وهو موقف متصلب تمامًا دون شك. وهم أيضًا ضد أي أبحاث حول المسح العصبي.**

إذن فهم يؤثرون على لجنة التعداد للمحافظة على تعريف تقليدي حول من يمكن إحصائه باعتباره إنسانًا؟

**هذا ما أقوله. ترفض اللجنة التصديق على ذلك، لكن هناك إجماع متنامي على أن مجموعة يورك لديهم قوة تصويتية كبيرة هناك. كان أخ مدير اللجنة بالفعل عضوًا في «فرقة بيان فلورنسا.»**

فلورنسا؟ أليس هذا هو المكان الذي سجنوا فيه كازنسكي؟

**هذا صحيح — فلورنسا، كولورادو. تم تهريب بيان فلورنسا بواسطة أحد الحراس قبل وفاة كازنسكي. لقد أصبح نوع من الإنجيل لدى أكثر أحزاب يورك تطرفًا.**

هل تلك هي جماعات العنف؟

**بشكل عام، لا. العنف قد يكون عبثي تمامًا. أحيانًا يكون هناك عنف منعزل، أو مجموعات صغيرة، تزعم أنها جزء من فرقة بيان فلورنسا، لكن ليس هناك ما يدل على وجود تآمر واسع.**

إذن ماذا في بيان فلورنسا؟

**رغم أنه تمت كتابته كله بالكتابة ذات الخط المتشابك باستخدام قلم رصاص، كان بالأحرى وثيقة واضحة ومؤثرة، خاصة بالنسبة للقلق من مولدات المرض النانوية.**

إذن ما هو القلق من مولدات المرض النانوية؟

**لقد حضرت، بالفعل، مؤتمرًا حوله.**

هل كنت حاضرة افتراضيًا؟

**تلك هي عادة الطريقة التي أحضر بها المؤتمرات في أيامنا هذه. على أي حال، تداخلت جلسات المؤتمر مع اجتماعات اللجنة، لذلك لم يكن أمامي خيار آخر.**

هل يمكنك حضور أكثر من اجتماع في نفس الوقت؟

**يحدث بعض التشوش. ومع ذلك، فهو غير مؤثر إلى حد ما، إنه مجرد الجلوس في اجتماع طويل وعدم فعل شيء مفيد في الوقت المتاح لك.**

أتفق معك. إذن ماذا كانت وجهة نظر المؤتمر؟

**حيث إن القلق من مولدات المرض الحيوية قد تضاءل — مع افتراض وجود أجهزة الاستكشاف النانوية، وتقنيات المسح، وكل التقنيات الأخرى — ظهر المزيد من الاهتمام بالتهديد الناتج عن مولدات المرض النانوية.**

ما مدى خطورتها؟

**لم تكن تمثل بعد مشكلة كبيرة. كانت هناك ورشة عمل حول الظاهرة الحديثة لأجهزة الاستكشاف النانوي التي قاومت بروتوكولات الاتصال، وأعطى ذلك بضعة إنذارات. لكن لم يكن هناك ما يشبه ما حدث لكم في ١٩٩٩ مع وفات أكثر من ١٠٠ ألف شخص سنويًا من ردود الفعل الضارة الناجمة عن العقاقير الصيدلانية. وحدث ذلك عندما كان يتم وصفها وتناولها بشكل صحيح.**

والعقاقير في ٢٠٢٩؟

**العقاقير في الوقت الحالي تتم هندستها جينيًا خاصة من أجل تركيب الدي إن إيه الخاص بالأفراد. ومن المثير للاهتمام أن عملية التصنيع المستخدمة تقوم على عمل طي للبروتين الذي تم تصميمه في الأصل من أجل أجهزة الاستكشاف النانوية. على أي حال، يتم تفصيل العقاقير على انفراد واختبارها في محاكاة لمضيف قبل تقديم أي قدر كبير إلى الجسم الفعلي للمضيف. لذلك فإن ردود الفعل الضارة على مستوى ذي قيمة أمر نادر تمامًا.**

إذن ليس هناك قلق كثير حول مولدات المرض النانوية؟

**أوه، لا يمكنني أن أقول ذلك. كان هناك فعلًا القليل من القلق تم التعبير عنه في بعض أبحاث الاستنساخ الذاتي الحديثة.**

يجب أن يحدث ذلك.

**لكن يبدو أن ظروف إعادة ترتيب الخطط كانت تتطلب ذلك.**

حسنًا، لا تقولي أنني لم أحذرك.

**سأبقي ذلك في ذاكرتي، وليس أن لي تأثير كبير في هذه القضية.**

أليس عملك في أغلبه في قضية التعداد؟

**نعم، منذ السنوات الخمس الماضية على أي حال. قضيت ثلاث سنوات أساسًا وأنا أمعن النظر في دليل دراسة اللجنة، لذلك يمكن أن أكون مؤهلة للاشتراك في اجتماعات اللجنة، رغم أنني لم يصبح لي صوت بعد.**

إذن كان لديك ثلاث سنوت باقية للدراسة؟

**شعرت كما لو أنني قد عدت إلى الكلية. وكان التعليم ممل تمامًا كما كان حينئذ.**

ألم تساعدك الزراعات العصبية؟

**أوه، بالتأكيد، لم تكن هناك طريقة أخرى أستطيع بواسطتها الاشتراك في ذلك. لسوء الحظ، لا زلت غير قادرة تمامًا على إنزال المادة، ليس بالطريق التي يستطيع بها جورج أن يفعل ذلك. تعالج الزراعة المعلومات بشكل مسبق، وتغذيني بتكوينات المعارف سابقة المعالجة بسرعة. لكن هذا الأمر يكون غالبًا محبطًا، إنه فقط يستغرق وقتًا طويلًا. بالرغم من ذلك، كان جورج يقدم لي عونًا كبيرًا. كان يعطيني نوع من التلميحات عندما كنت أرتبك في شيء ما.**

إذن لقد انتهت دراسة السنوات الثلاثة الآن؟

**منذ نحو سنة مضت، كانت اجتماعات اللجنة قد أصبحت مجهدة إلى حد ما، وركزت عليها. والآن مع التعداد الذي سيتم بعد عام، نعمل على تنفيذه. لذلك فبعيدًا عن الدعوى القانونية، يعتبر جذابًا إلى حد بعيد.**

دعوى قانونية؟

**أوه، مجرد خلاف فكري عادي. براءة اختراعي لخوارزم تطوري معزَّز لتمييز نمط لوحدة استكشاف نانوية لكشف حالات خلل الخلية تلقى هجومًا بمذكرة دعوى فنية سابقة. سبق أن أشرت في أحد جماعات الحوار أنني فكرت كثيرًا في أن استحقاقات براءات الاختراع كان يتم انتهاكها، والأمر الثاني أنني عرفت أنني أمام دعوى حكم تفسيري من صناعة وحدات الاستكشاف النانوية.**

لم أكن أعرف أنك تعملين في وحدات استكشاف نانوية.

**لكي أكون صادقة معك تمامًا، كان اختراع لجورج، لكنه احتاج إلى عامل مسئولية.**

حيث إنه لم يكن ذي مركز.

**هذا صحيح، لا تزال هناك بعض القيود عندما لا تستطيع تأسيس أصلك البشري.**

إذن كيف سيتم حل ذلك؟

**سيكون الأمر أمام قاضي الصلح في الشهر المقبل.**

قد يكون محبطًا بعض الشيء توصيل هذه القضايا التكنولوجيا إلى المحكمة.

**أوه، يعرف قاضي الصلح هذا مادته. إنه خبير مميز في تمييز الأنماط بوحدات الاستكشاف النانوية.**

لا يبدو الأمر مثل المحاكم التي أعرفها.

**كان التوسع في نظام قاضي الصلح تطور إيجابي إلى حد بعيد. لو أننا اقتصرنا على القضاة البشر ...**

أوه، إذن قاضي الصلح هو ...

**ذكاء افتراضي، نعم.**

إذن فإن للآلات نوع من المركز القانوني.

**رسميًا، يعتبر قضاة الصلح الافتراضيين مندوبين للقاضي البشري يتولون شئون هذه المحكمة، لكن قضاة الصلح يتخذون أغلب القرارات.**

فهمت، يبدو الأمر كما لو أن قضاة الصلح هؤلاء ذوي سلطة إلى حد ما.

**ليس هناك في الحقيقة خيار. القضايا بالغة التعقيد دون شك، وقد تستغرق العملية وقتًا طويلًا لو تم ذلك بأية طريقة أخرى.**

فهمت، حدثيني إذن عن ابنك.

**إنه طالب في الصف العاشر في ستانفورد، ويقضي وقته بشكل جيد جدًّا.**

لديهم بالتأكيد حرم جميل.

**نعم، كنا نهتم بالفناء البيضوي والمربع وقتًا طويلًا. ولدى جيريمي مساقط في الأبعاد الثلاثة لحرم ستانفورد على بوابات الصور عن العشر سنوات الماضية.**

لا بد أنه يشعر عندئذ كما لو كان في البيت.

**إنه في البيت. إنه في الطابق السفلي.**

إذن هو يحضر افتراضيًّا.

**أغلب الطلاب يفعلون ذلك. لكن لا يزال لدى ستانفورد إجراءات تتضمن مفارقة تاريخية حول قضاء أسبوع على الأقل كل فصل دراسي في الحرم بالفعل.**

بجسمك الطبيعي؟

**بالضبط، مما يجعل الأمر صعبًا بالنسبة للذكاء الافتراضي لكي يحضر بشكل رسمي.**

ليس هذا ما يحتاجون إليه، حيث يمكنهم إنزال المعارف مباشرة من شبكة المعلومات العالمية.

**لا يتعلق الأمر بالمعارف ولكن بجماعات الحوار التي قد تكون مثيرة للاهتمام.**

ألا يستطيع أي شخص الحضور مع جماعات الحوار؟

**فقط الحوارات المفتوحة. هناك الكثير من جماعات الحوار المغلقة-**

أليست موجودة على شبكة المعلومات العالمية؟

**بالطبع هي على الشبكة، لكنك تحتاج إلى مفتاح.**

هذا صحيح، إذن هذا سبب حضور جيريمي الدراسة من المنزل؟

**بالضبط. جيريمي وجورج يتطوران متقاربين تمامًا في المدة الأخيرة، لذلك يترك جيريمي جورج ينصت للحلقات الدراسية المغلقة، لكنه لا يخبر أي شخص آخر عن ذلك.**

لن أخبر أحد بهذا الأمر. سأخبر فقط قرائي الآخرين.

**حسنًا، عليهم الاحتفاظ به سرًّا أيضًا.**

سوف أنقل لهم ذلك.

**أتمنى أن ذلك سيلقي الاستحسان. وعلى أي حال، فإن جورج يساعد جيريمي في واجباته المدرسية حتى الآن.**

أتمنى ألا يكون جورج يحل له كل الواجبات.

**أوه، لا يمكن أن يفعل جورج هذا. إنه يساعده فقط. إنه يساعدنا جميعًا. إننا بالفعل لا يمكننا تدبير الأمور بطريقة أخرى.**

كما تعلمين، يمكنني استخدام هذه المساعدة أيضًا. قد يساعدني في الوفاء بالموعد النهائي الذي التزمت به لهذا الكتاب.

**حسنًا، جورج ذكي، لكنني أخشى أنه ليس لديه تقنية حرية العمل الشعرية تلك التي تتيح لك أن تتكلم معي من على بعد ثلاثين عامًا.**

هذا سيئ حقًّا.

**ولكني سأكون سعيدة لمساعدتك في ذلك.**

نعم، أعرف، أنت دائمًا تفعلين هذا.

الفصل الثاني عشر

# ٢٠٩٩

عندما أطل من نافذتي
ماذا تظن أنني أرى؟
... الكثير جدًّا من الناس المختلفين موجودون.

دونوفان Donovan

نحن نعرف ما نحن عليه، لكننا لا نعرف ما سنصبح عليه.

وليم شكسبير William Shakespeare

يندمج الذكاء البشري في عالم ذكاء الآلة الذي ابتكره الجنس البشري في البداية.

ويبدو أن الهندسة العكسية للمخ البشري قد اكتملت. تم بشكل كامل مسح مئات من المناطق المتخصصة، وتحليلها وفهمها. واعتمدت الآلة النظيرة على هذه النماذج البشرية، التي تم تعزيزها والتوسع فيها، بالإضافة إلى الكثير من الخوارزميات كثيفة التوازي. وتتيح هذه التعزيزات، وقد انضمت إليها ميزات هائلة في سرعة وسعة الدوائر الإلكترونية/الفوتونية، ميزات مهمة للذكاء المعتمد على الآلة.

تدَّعي كيانات الذكاء المعتمد على الآلة والمشتقة بكاملها من تلك النماذج الشاملة للذكاء البشري أنها بشر، رغم أن أمخاخها غير قائمة على العمليات الخلوية المعتمدة على الكربون، ولكن بالأحرى «مرادفات» إلكترونية وفوتونية. وأغلب هذه الكيانات الذكية غير مرتبطة بوحدة معالجة حوسبة معينة (أي، جزء من عتاد hardware). وعدد البشر المعتمدين على البرمجيات يتجاوز إلى حد بعيد عدد هؤلاء الذين يستخدمون الحوسبة

المعتمدة على خلية العصبون الطبيعية. ويستطيع الذكاء المعتمد على البرمجيات أن يُظهر الأجسام عند الرغبة في ذلك: جسم افتراضي أو أكثر في مستويات مختلفة من الواقع الافتراضي وأجسام طبيعية بالهندسة النانوية باستخدام أسراب نانوبوت يتم إعادة تشكيلها على الفور.

حتى من بين كيانات الذكاء البشري هذه التي لا تزال تستخدم عصبونات معتمدة على الكربون، هناك استخدام في كل مكان وفي كل وقت لتقنية الزراعة العصبية، التي تتيح زيادة هائلة في القدرات الإدراكية والمعرفية البشرية. والبشر الذين لا يستخدمون هذه الزراعات يعجزون عن المشاركة ذات المعنى في الحوارات مع هؤلاء الذين لديهم هذه الزراعات.

وهناك تعدد في الطرق التي تتوحد من خلالها هذه السيناريوهات. ولقد تغير إلى حد بعيد تصور ماهية الإنسان. وتمثل حقوق وسلطات أشكال الظهور المختلفة لذكاء الإنسان وذكاء الآلة والأشكال المختلفة للتوحيد بينها قضية سياسية وفلسفية رئيسية، رغم استقرار الحقوق الأساسية للذكاء المعتمد على الآلة.

وهناك فرط من النزعات سيمكننا قريبًا جدًّا تجربتها والشعور بها في ٢٠٩٩ والتي ستواصل التسارع في ذلك القرن الثاني والعشرين المقبل، حيث ستتفاعل بعضها مع بعض، و...

---

**نعم، نعم، كما يحب نيلز بور Niels Bohr أن يقول: «من الصعب التنبؤ، خاصة بالمستقبل.» فلماذا إذن لا تستطرد بملاحظاتي فقط، سيكون ذلك أكثر سهولة وأقل إثارة للارتباك.**

ربما يكون لذلك معنى.

**ومع ذلك، فإن مائة سنة تعتبر زمنًا طويلًا. وكان القرن الحادي والعشرين بمثابة عشرة قرون في قرن.**

نعتقد أن هذا كان صحيحًا بالنسبة للقرن التاسع عشر.

**مسار العائدات المتسارعة يقتات به.**

على أي حال، لست مندهشًا، ويبدو أنك مذهولة.

**هذا ما تقوله كلما التقينا.**

أعني يبدو عليك من جديد أنك في العشرين من العمر، ومع ذلك فإنك أكثر جمالًا مما كنت عليه عند البدء في هذا الكتاب.

**عرفت أن هذا ما ترغب في أن أكون عليه.**

عظيم، الآن سوف اتَّهم بتفضيل النساء الأكثر شبابًا.

**أنا سعيدة بأنني في ٢٠٩٩.**

شكرًا.

**هاي، يمكنني أن أكون قبيحة، أيضًا.**

هذا صحيح.

**ليس الأمر كذلك، يمكن أن أبدو قبيحة دون تغيير في مظهري. يشبه الأمر ما تم اقتباسه من فتجنشتين: «تخيل هذه الفراشة كما هي عليه فعلًا، ولكن باعتبارها قبيحة وليست جميلة.»**

كنت دائمًا في حالة تشوش إلى حد ما تجاه هذا الاقتباس، لكنني سعيد بأنك تقتبسين من مفكري القرن التاسع عشر.

**حسنًا، لن تكون مطلعًا على مفكري القرن الحادي والعشرين.**

إذن أنت تعبرين عن هذا المظهر. لكن ليس لدى القدرة على رؤية الواقع الافتراضي، لذلك لا.

**أتريد أن تفهم كيف يمكنك رؤيتي؟**

هذا صحيح.

**جسمي الآن مجرد عرض سرب ضباب. أنيق أليس كذلك؟**

ليس سيئًا، ليس سيئًا على أي حال. وتبدو مشاعرك جيدة بشكل ظريف أيضًا.

**فكرت في أن عليَّ أن أعانقك، أعني أن الكتاب انتهى تقريبًا.**

إنها التكنولوجيا حقًّا.

**أووه، لم نعد نستخدم الأسراب بهذه الكثرة.**

آخر مرة رأيتك فيها، لم يكن هناك أسراب نانوبوت. والآن ها أنتم وقد انقضى استخدامكم لها في الغالب. أظن أن مرحلة ما قد فاتت عليَّ هنا.

**أووه، واحدة أو اثنتين. لقد مضى سبعون عامًا منذ رأى كل منا الآخر! وهي سبعون سنة متسارعة بشكل غير مسبوق في هذا المجال.**

علينا أن نتقابل أكثر من ذلك.

**لا أعرف هل سيكون هذا ممكنًا. الكتاب يقترب من الانتهاء. كما قلت.**

إذن، هل ما زلت أنت وجورج في علاقة حميمة؟

**أوه، حميمة جدًّا. لا نتباعد أبدًا.**

أبدًا؟ ألا يمل أحدكما الآخر؟

**هل يصيبك الملل من نفسك؟**

في الحقيقة، أحيانًا يحدث ذلك. هل تعنين أنك وجورج، ما هي الكلمة التي أرغب في قولها...

**مندمجان؟**

هممم. هل يشبه ذلك اندماج شركة؟

**حسنًا، إنه يشبه أكثر تشارك مؤسستين.**

مؤسستان للعقل؟

**بالضبط. عقلنا الآن ربما يكون مؤسسة كبيرة سعيدة.**

هل يفترس العنكبوت الأنثى العنكبوت الذكر الصغير؟

**أوه لا، جورج هو العنكبوت الكبير. كان عقله يشبه..**

مجرة؟

**صحيح، وحتى لا نبتعد كثيرًا، لعله مثل مجموعة شمسية كبيرة.**

إذن اندمجتما في مؤسسات، أو، اندمجتما في مؤسساتكما. لذلك ألا يمكنكما أن تتطارحا الغرام مع بعضكما بعد ذلك؟

**لا تكون هذه هي النتيجة مهما كان.**

حسنًا، أظن أن هناك بعض الأشياء وراء قدرتي على الفهم في ١٩٩٩.

**ولا تكون هذه هي النتيجة أيضًا. الشيء العميق حول الكائنات البشرية ــ حتى البشر الموش ذوي الركيزة الأصلية في الغالب MOSHs ــ هو أنه لا شيء تقريبًا بعيد عن فهمك حقًّا. هذا أيضًا لم يكن صحيح بالنسبة للرئيسيات الأخرى.**

حسنًا، أسئلتي تقف في صف الانتظار الآن. موش MOSHs؟

**نعم، البشر ذوي الركيزة الأصلية في الغالب.**

نعم، بالطبع، ... غير المعزَزة ...

**بالضبط.**

ولكن كيف يمكن لك أنت وجورج أن تكونا في علاقة حميمة الآن وقد اندمجتما في قوات، إذن عم تتكلمين؟

**حسنًا، كما تقول قصيدة باري سباك Barry Spack:**

تقصدين «تضاعف بشهوته، ويبدو كتأوهات امرأة ...»

**صحيح، بل أقصد أنه حتى الموش يقسمون أنفسهم ...**

عندما نكون مع أنفسنا ...

**أو مع الآخرين. هذه هي الذروة، ألا تظن ذلك، أن تصبح الشخص الآخر ونفسك في نفس الوقت.**

خاصة عندما يكون الشخص الآخر هو بالفعل جزء من نفسك.

**بالتأكيد. لكنني أنا وجورج يمكننا أن نستمر في تقسيم أنفسنا، على الأقل طبقاتنا الخارجية.**

طبقات؟

**حسنًا، ربما يكون من الصعب شرح بعض الأشياء للموش، حتى واحد منها لطيف مثلك.**

ياه، موش هو الذي ابتكرك، لا تنسَ ذلك.

**أوه، لن أنسى أبدًا. سوف أكون مقرة بالجميل إلى الأبد. يمكنك تصور الطبقات الخارجية باعتبارها شخصياتنا.**

إذن، أنتم تفصلون شخصياتكم ...

**أحيانًا. لكننا نستمر نتقاسم معارفنا المختزنة طول الوقت.**

يبدو من ذلك أن كل منكما لديه الكثير جدًّا المشترك بينكما.

(قهقهات)

**أرى أنك ما زلت بشخصيتك القديمة.**

بالطبع أحتفظ بشخصيتي القديمة. إن لها قيمة عاطفية كبيرة لديَّ.

**أفهم ذلك، إذن لديك غيرها؟**

نعم، ما أفضله هو القليل منها وهو ما توصل إليه جورج.

**رجل مبدع.**

أوه نعم.

**حسنًا، أن يكون لديك عدة شخصيات ليس أمرًا متميزًا إلى هذه الدرجة. كان لدينا أشخاص يشبهون ذلك في القرن التاسع عشر أيضًا.**

بالتأكيد، أتذكر ذلك. لكن لم يكن هناك ما يكفي من التفكير لتطوف حولها لدى الجميع. عندما تكون هذه الشخصيات ملتصقة فقط بمخ موش MOSH واحد. لذلك كان من الصعب لكل هذه الشخصيات أن تنجح في الحياة.

**إذن ما الذي تفعلينه الآن؟**

أتكلم معك.

**نعم، أعرف، لكن ماذا تفعلين غير ذلك؟**

في الحقيقة ليس بالكثير. أحاول أن أعيرك أغلب اهتمامي.

**ليس إلى هذه الدرجة؟ إذن أنت تفعلين شيئًا آخر.**

أنا في الحقيقية لا يمكنني التفكير في أي شيء.

**حسنًا، هل أنت على علاقة بشخص آخر في هذه اللحظة؟**

أنت فضولي إلى حد ما.

**لقد أثبتنا ذلك منذ عقود مضت. لكن لا يجيب هذا عن السؤال.**

حسنًا، ليس هناك أحد حقًّا.

**ليس هناك أحد حقًّا؟ إذن لديك بالفعل علاقة.**

حسنًا، عدا جورج، ليس لديَّ علاقة حقًّا.

**أنا سعيد أنني لا أسبب لك الحيرة كثيرًا. حسنًا، وماذا أيضًا؟**

مجرد الانتهاء من تلك السيمفونية.

**هل هذا اهتمام جديد؟**

أنا في الحقيقة ألهو فقط، لكن إبداع الموسيقي هو وسيلة عظيمة تجعلني أظل قريبة من جيريمي وإميلي.

**إبداع الموسيقى يبدو كما لو أنه شيء جيد تفعلينه مع طفليك، حتى لو كانا تقريبًا في عمر التسعين. إذن هل يمكنني الاستماع إليها؟**

أخشى أنك لن تفهمها.

**إذن هل تحتاج إلى تعزيز لفهمها؟**

نعم أغلب الفنون تحتاج إلى ذلك. بالنسبة للمبتدئين، تعتبر هذه السيمفونية ترددات لا يسمعها أي موش، ولها إيقاع بالغ السرعة. وتستخدم بنى موسيقية لا يمكن لأي موش أن يتتبعها أبدًا.

**ألا يمكنك إبداع فن من أجل بشر غير متسعين؟ أقصد أنه لا يزال هناك الكثير من العمق الممكن. فكري في بتهوفن، لقد كتب منذ نحو قرنين، ولا نزال نجد أن موسيقاه مبهجة.**

نعم، هناك نوع من الموسيقى — وفي كل الفنون بالفعل — حيث نبدع موسيقى وفنًا يستطيع الموش فهمها.

**وعندئذ تعزفين موسيقى الموش من أجل البشر الموش؟**

هممم، الآن هناك فكرة مثيرة للاهتمام. أظن أنه يمكننا تجربة ذلك، رغم أن الموش لم يعد من السهل أن تجدهم. ومع ذلك، ليس ذلك ضروريًا. يمكننا بالتأكيد فهم ما يستطيع الموش فهمه. والفكرة، مع ذلك، هي استخدام عيوب الموش باعتبارها قيدًا إضافيًا.

**نوع مما يشبه تأليف موسيقى جديدة للآلات الموسيقية القديمة.**

نعم، موسيقى جديدة لعقول قديمة.

**حسنًا، عدا حوارك مع جورج، وهذه السيمفونية، هل أنت منتبهة لي تمامًا؟**

حسنا. أنا وجورج لدينا همبروجر للغداء.

**ظننت أنك كنت نباتية.**

إنه ليس همبورجر من بقرة، سخيف.

**بالطبع، همبورجر سرب.**

لا، لا. لقد أصابك بعض التشوش. لدينا طعام مُنتج بالتكنولوجيا النانوية منذ نحو نصف قرن مضى. لذلك يمكننا أكل اللحوم، أي شيء نرغب فيه، لكنه لا يأتي من الحيوانات، وله تركيب غذائي مناسب. ولكن حتى عندئذ، فإنك في الواقع لا ترغب في أن تأكل عرض سرب، الأسراب من أجل العروض البصرية السمية اللمسية فقط في الواقع الحقيقي. هل تتابع ما أقول؟

**أوه، بالتأكيد.**

حسنًا، منذ عقدين حل محل أجسامنا من الناحية الأساسية أعضاء أُنشئت بالتكنولوجيا النانوية. لذلك لم نعد نحتاج إلى الأكل في الواقع الحقيقي. على أي حال، كانت الأجساد المنتَجَة بالتكنولوجيا النانوية غير مرنة إلى حد ما. أقصد، كانت تحتاج إلى عدة ثوان لإعادة تشكيلها على هيئة مختلفة. لذلك فإننا اليوم، عندما تكون هناك ضرورة، نعرض فقط جسم مناسب.

**باستخدام أسراب نانوبوت؟**

هذه إحدى الطرق لفعل ذلك. وهذا ما أفعله معك الآن.

**حيث إنني موش.**

صحيح، لكن في أغلب الأحوال الأخرى، أستخدم فقط قناة افتراضية متاحة.

**حسنًا، أظن أنني أتابع ما تقولين الآن.**

مثل ما قلت. يمكن للموش أن يفهموا تقريبًا كل شيء. ونحترم بشر الموش كثيرًا.

**إنه ميراثك، على أي حال.**

صحيح، وعلى أي حال، يتطلب الأمر منا، منذ تشريع السلف.

**حسنًا، دعيني أخمن. كان بشر الموش في حماية إعفاء العقول الأصلية من التشريعات الجديدة.**

نعم، لكن ليس الموش فقط. إنه في الحقيقة برنامج لحماية كل حقوق الميلاد، احترام لما كنا عليه.

**إذن لا زلت تحبين أن تأكلي؟**

بالتأكيد. حيث إننا نعتمد على ميراثنا من الموش، فإن خبراتنا ــ الأكل، والموسيقى والجنس ــ لها أساس قديم، بالرغم من اتساعها الضخم. ومع ذلك، لدينا نطاق

واسع من التجارب الراهنة التي يصعب تحديدها، رغم أن علماء الأنثربولوجيا مستمرين في المحاولة.

**لا زلت مندهشًا من أنك مهتمة بأكل الهمبورجر.**

إنه عودة إلى صفة سابقة، أعرف ذلك. الكثير من أفعالنا وأفكارنا تعود جذورها إلى الماضي. لكن الآن كما أشرت، أظن أنني فقدت شهيتي للطعام.

**أنا آسف لهذا.**

نعم، حسنًا، لعلي أصبحت أكثر حساسية. شيلبي، صديقتي الجذابة، تشبه بقرة، على الأقل هذا ما تُظهر نفسها عليه دائمًا. تزعم أنها كانت بقرة استمالها الجانب الآخر وتم تعزيزها. لكن لا أحد يصدقها.

**إذن ما مدى رضاها بأن تأكل همبورجر افتراضيًّا في واقع افتراضي؟**

إنها راضية تمامًا ـ الملمس، والطعم، والرائحة رائعة ـ فقط كيف أتذكرها، حتى رغم أنني أصبحت نباتية في أغلب الأوقات. لا تحاكي النماذج العصبية فقط بيئاتنا البصرية، والسمعية، واللمسية، لكن بيئاتنا الداخلية أيضًا.

**بما في ذلك الهضم؟**

يبدو أننا نتدبر الأمر لتجنب ذلك.

**ينقصكم شيء ما في ما يخص هذا الأمر.**

هممم.

**حسنًا، كنت امرأة شابة جذابة عندما قابلتك أول مرة. ولا زلت تعرضين نفسك كفتاة جميلة. على الأقل عندما أكون معك.**

شكرًا.

**إذن، هل تقولين أنك آلة الآن؟**

آلة؟ ليس عليّ في الحقيقة أن أقول ذلك. يشبه الأمر سؤالي حول ما إذا كنت متقدة الذكاء أو مُلهَمَة.

**أظن أن كلمة آلة في ٢٠٩٩ ليس لها تمامًا نفس معنى ما كانت عليه هنا في ١٩٩٩.**

من الصعب بالنسبة لي أن أتذكر ذلك الآن.

**حسنًا، دعيني أصغ الأمر بطريقة أخرى. هل لا يزال لديك أي دوائر عصبية تعتمد على الكربون؟**

دوائر. لست متأكدة من أنني فهمت. هل تقصد دوائري الخاصة؟

**يا سلام! أعتقد أن الكثير من الوقت قد مر.**

حسنًا، انتبه. لدينا وسطنا العقلي الخاص منذ بضعة عقود، ولا يزال هناك كيانات ذكاء محلية تبدو ملتصقة بوحدة حوسبة خاصة. لكن هذا يعكس نوع من الرباط القديم المثير للقلق. وعلى أي حال، تُجري هذه الكيانات الذكية المحلية معظم عمليات تفكيرها في الشبكة العالمية للمعلومات، لذلك فإنها مجرد مفارقة تاريخية عاطفية.

**مفارقة تاريخية، مثل أن لديك جسمك الخاص؟**

يمكن أن يكون لديَّ جسمي الخاص في أي وقت أريد.

**لكن أليس لديك ركيزة عصبية معينة؟**

لماذا أرغب في هذا؟ إنها تعني ببساطة الكثير من الصيانة، ومحدودة إلى درجة كبيرة.

**إذن، حدث عند نقطة ما أنه تم مسح الدوائر العصبية لمولي؟**

نعم، أنا، مولي. ولم يحدث هذا كله دفعة واحدة، بالمناسبة.

**لكن ألست مندهشة من أن تكوني نفس الشخصية؟**

بالطبع هذا ما يحدث. يمكنني أن أتذكر بوضوح خبراتي قبل أن نبدأ مسح مخي، خلال العقد الذي تم فيه إعادة تركيب هذه الأقسام، ولا أزال أذكرها منذ ذلك الحين.

**بالتأكيد، لقد ورثت كل ذكريات مولي.**

أوو، لا، لن نعود إلى هذه القضية من جديد.

**لا أقصد تحديك. لكن مجرد اعتبار أن المسح العصبي لمولي تم تركيبه في نسخة هي التي أصبحت ما أنت عليه. لعل مولي لا تزال مستمرة في الوجود ولعلها تطورت في اتجاه ما آخر.**

لا نفكر في أن هذا منظور فعَّال. لقد جعلنا هذه القضية تستقر على الأقل منذ عشرين عامًا.

**حسنًا، بالطبع أنت تشعرين بهذه الطريقة الآن. أنت في الجانب الآخر.**

حسنًا، كل شخص فعل ذلك.

**كل شخص؟**

حسنًا، ليس كل شخص بالضبط. لكن ليس هناك شك في تفكيري بأن ...

**بأنك أنت موللي.**

أعتقد أنني أعرف من أنا.

**حسنًا، ليس لديَّ مشكلة تجاهك باعتبارك موللي.**

أنتم الموش كنتم دائمًا خصمًا يسهل التغلب عليه.

**من الصعب التنافس معكم أنتم يا من تنتمون إلى الجانب الآخر.**

بالتأكيد هذا صحيح. وهذا هو سبب أن أغلبنا على القمة هنا.

**لست متأكدًا من قدرتي على التوسع في قضية الهوية أكثر من ذلك.**

هذا أحد أسباب أنها لم تعد قضية.

**إذن لماذا لا نتحدث عن عملك. هل لا تزالين تعملين مستشارة للجنة التعداد؟**

لقد انشغلت بذلك لمدة نصف قرن، لكن أصابني الكثير من الأذى بسببها. وعلى أي حال، القضية الآن تنفيذية في الغالب.

**إذن تم حل قضية كيفية العد؟**

لا نعد الناس في الوقت الحاضر. أصبح من الواضح أن عد الأشخاص كأفراد ليس له معنى إلى حد بعيد. وكما قالت إريس موردوش Iris Murdoch: «من الصعب معرفة أين ينتهي شخص ما ويبدأ شخص آخر.» ويبدو الأمر بالأحرى كما لو أنه محاولة لعد الأفكار أو عمليات التفكير.

**إذن ما الذي تعدونه؟**

من الواضح أننا نعد عمليات الحوسبة.

**تقصدين، مثل عدد عمليات الحوسبة في الثانية.**

هممم، الأمر أكثر تعقدًا بعض الشيء من هذا، بسبب الحوسبة الكمية.

**لا أتوقع أن يكون الأمر بسيطًا. لكن ما هو الحد الأدنى؟**

حسنًا، بدون الحوسبة الكمية، وصلنا إلى نحو ١٠^٥٥ عملية حسابية في الثانية.[١]

**لكل شخص؟**

لا، كل منا يحصل على أي حوسبة يرغب فيها. هذا هو العدد الكلي.

**لكلِّ الكوكب؟**

نوعًا ما. أقصد ليس كل العدد على الكوكب بشكل حرفي.

**وبالحوسبة الكمية؟**

حسنًا، نحو ٤٢١٠ من عمليات الحوسبة تعتبر حوسبة كمية، مع نحو ١٠٠٠ بت كمي مميز. إذن هذا يساوي نحو ٣٤٢١٠ عملية حسابية في الثانية، لكن عمليات الحوسبة الكمية ليست لغرض عام بكاملها، لذلك فإن العدد ٥٥١٠ يظل مناسبًا.[٢]

**هممم، لديَّ فقط نحو ١٦١٠ عملية حسابية في الثانية في مخي الموش، على الأقل في اليوم المناسب.**

يتبين أن هناك بعض الحوسبة الكمية في مخ الموش لديك، لذلك فهو أعلى.

**هذا أمر يطمئنني. إذن عندما لا تكوني في عمل في التعداد، ما الذي تفعلينه؟**

ليس لدينا عمل بالضبط.

**أعرف ما يشبه هذا الأمر.**

بالفعل، لم تكونوا نموذجًا سيئًا للعمل في أواخر القرن الحادي والعشرين. نحن جميعًا من الناحية الأساسية مقاولون.

**يبدو كما لو أن بعض الأشياء تحركت في الاتجاه الصحيح. إذن ما هي بعض مشروعاتك؟**

أحد الأفكار لديَّ هي طريقة فريدة من نوعها لإعداد فهرس للاقتراحات التكنولوجيا الجديدة. إنها تهتم بالملائمة بين المعرفة لدى المستخدمين والمعرفة الخارجية لشبكة المعلومات العالمية، ثم دمج الأنماط المترابطة بشكل مباشر.

**لست متأكدًا من أنني أتابع ما تقولين. لكن إعطيني مثالاً عن مقترح بحثي حديث أعددت له فهرسًا.**

معظم الفهرسة آلية. لكنني كنت مهتمة بمحاولة وصف بعض المقترحات الحديثة في مجال هندسة الفيمتو.[٣]

**فيمتو، باعتبارها جزء من ألف من تريليون من المتر؟**

بالضبط. كان دركسلر قد كتب سلسلة من الأبحاث يوضح إمكانية بناء تقنية على مستوى الفيمتومتر، بأن نستغل من الناحية الأساسية البنى بالغة الصغر في الكواركات لإنجاز الحوسبة.

**هل فعل أي شخص هذا؟**

لم ينجز أحد هذا، لكن يبدو أن أبحاث دركسلر توضح أنه أمر عملي. على الأقل هذه وجهة نظري، لكنها مثيرة للجدل إلى حد ما.

**أليس هو دركسلر نفسه الذي طور مفهوم التكنولوجيا النانوية في سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين؟**

نعم إريك دركسلر.

**ذلك يجعل عمره نحو ١٥٠، لذلك فإنه في الجانب الآخر.**

بالطبع، أي شخص يعمل عملًا جادًّا يجب أن يكون في الجانب الآخر.

**أشرت إلى الأبحاث papers. هل ما زال لديكم صحف papers؟**

نعم، حسنا بعض المصطلحات القديمة لا تزال ثابتة. نحن نطلق عليها الموشيات Moshisms. لا تقدم الصحف بالتأكيد أي مادة طبيعية. لكننا لا نزال نسميها صحفًا.

**ما هي اللغة التي تُكتب بها، الإنجليزية؟**

يتم نشر الصحف الجامعية بشكل عام باستخدام مجموعة نموذجية لبروتوكولات المعرفة المدمَجَة، التي يمكن فهمها على الفور. بعض الأنواع متقلصة البنية ظهرت أيضًا، لكنها تُستخدم بشكل عام في المطبوعات الأكثر رواجًا.

**تقصدين، مثل ناشيونال إنكوير National Enquirer؟**

تلك مطبوعة جادة إلى حد ما. إنهم يستخدمون البروتوكول بكامله.

**أفهم ذلك.**

أحيانًا، يتم توفير الصحف أيضًا بأشكال تعتمد على التوجيهات، لكنها تكون عادة غير مقبولة. هناك نزعة غريبة للمطبوعات الشعبية التي تنشر مقالات بلغات الموش مثل الإنجليزية، لكن يمكننا ترجمتها إلى بنى معرفية مدمجة أكثر سرعة على الأصح. التعليم لا يحتاج إلى الجهد الكبير كما كان من قبل. الجهد الكبير الآن في اكتشاف معرفة جديدة لتعلمها.

**هل هناك اتجاهات حديثة أخرى شاركت فيها؟**

حسنًا، هناك صعوبة في الفهرسة الآلية لمقترحات حركة الانتحار.

**ما هي؟**

الفكرة أن يكون لديك الحق في إيقاف ملف مخك بالإضافة إلى تدمير كل النسخ. تتطلب القواعد الاحتفاظ بثلاث نسخ احتياطية على الأقل من النخبة لا تقل عن عشر دقائق، وعلى الأقل تكون إحدى هذه النسخ تحت سيطرة السلطات.

**يمكنني أن أفهم المشكلة. الآن إذا قيل لك أن كل النسخ سوف يتم تدميرها، يمكنهم الاحتفاظ سرًّا بنسخة وتركيبها في وقت لاحق. لا يمكن أبدًا أن تعرف. هل هذا يتناقض مع أطروحة أن هؤلاء الموجودين في الجانب الآخر هم نفس الشخص ــ نفس ديمومة الوعي ــ مثل الشخص الأصلي؟**

لا أظن أن هذا ما ينتج على أي حال.

**هل يمكنك توضيح ذلك؟**

لن تفهم.

**أعتقد أنه يمكنني فهم أي شيء.**

لقد قلت ذلك. أظن أن عليك أن تعطي هذا الأمر المزيد من التفكير.

**هل عليك أن تعطي المزيد من التفكير حول ما إذا كان موش يمكنه فهم أي مفهوم، أو حول قضية ديمومة الوعي؟**

أظن أنني الآن في حالة ارتباك.

**صحيح، حسنًا، احكي لي المزيد حول حركة «تدمير نفسك» هذه.**

حسنًا، يمكنني بالفعل رؤية كلا جانبي القضية. من جانب، كان لديَّ تعاطف دائمًا مع حق الشخص في السيطرة على مصيره. ومن جانب آخر، إنها لخطيئة أن تدمر المعرفة.

**وهل تمثل النسخ معرفة؟**

بسبب ذلك بالتأكيد. منذ وقت قريب، كانت حركة تدمير كل النسخ هي قضية يورك الأساسية.

**الآن انتظري لحظة. إذا كنت أتذكر على الوجه الصحيح، اليوركيون Yorks ضد التقنيين، وحتى الآن أنتم فقط في الجانب الآخر قد يكون لديكم قلق حول قضية تدمير كل النسخ. لو أن اليوركيين كانوا على الجانب الآخر، كيف يصبحون ضد التكنولوجيا؟ أو إذا لم يكونوا على الجانب الآخر، فلماذا يهتمون عندئذ بهذه القضية؟**

حسنًا، تذكر أنه قد مر سبعون عامًا منذ تحدثنا معًا. لجماعات يورك جذورهم في الحركات المناهضة للتقنية، لكنهم الآن في الجانب الآخر، وقد انجرفوا إلى قضية مختلفة نوعًا ما،

خاصة الحرية الفردية. مجموعة الأشخاص المنتمين لبيان فلورنسا، من الجانب الآخر، حافظوا على التزامات تجاه بشر الموش، وهو ما أحترمه بالطبع.

**أشكرك. وهم في حماية تشريع السلف؟**

حقًّا. استمعت لعرض لواحدة من قادة حركة حوار مجموعة فلورنسا في يوم ما، وبينما كانت تتكلم بلغة الموش، لم تكن هناك طريقة ملائمة لم تتبعها، على الأقل زراعة امتداد عصبي.

**حسنًا، نحن بشر الموش يمكن أن نكون على صواب من وقت لآخر.**

أوه، بالطبع. لا أقصد التلميح بطريقة أخرى، أنا أقصد ...

**هذا صحيح. إذن هل تشاركين في حركة تدمير كل النسخ هذه؟**

فقط في فهرسة بعض الاقتراحات والحوارات. لكنني أشارك في حركة ذات علاقة بذلك لمنع الكشف القانوني عن البيانات الاحتياطية.

**يبدو هذا مهمًّا. لكن ماذا عن كشف ملف المخ نفسه؟ أقصد، كل تفكيرك وذاكرتك موجودة هناك في شكل رقمي.**

حاليًّا، هي على شكل رقمي وقياسي، لكن فكرتك وصلت بشكل جيد.

**إذن...**

كانت هناك أحكام في الكشف القانوني لملف المخ. وبشكل أساسي، بنى معرفتنا التي تناظر ما كان يستخدم لإنشاء الوثائق والأشياء المصنوعة بيد الإنسان القابلة للكشف، كانت قابلة للكشف. وتلك البنى والأنماط التي تناظر عملية تفكيرنا ليس من المفترض أن تكون قابلة للكشف. ومرة أخرى، كل ذلك له جذور في ماضي البوش. لكن كما يمكنك أن تتخيل، هناك حالات تقاضي لا تنتهي حول كيفية تفسير ذلك.

**إذن تم حل الكشف القانوني لملف مخك الأساسي، مع أن هذا تم ببعض القواعد الغامضة. فماذا عن الملفات الاحتياطية؟**

صدق أو لا تصدق، لم يتم حل قضية الملفات الاحتياطية بشكل كامل. هل في ذلك الكثير من الصواب، هل الأمر كذلك؟

**النظام القانوني لم يكن أبدًا متسقًا بشكل كامل. ماذا عن الشهادة ـــ هل يجب عليكم الحضور جسديًّا؟**

حيث إن الكثير من بيننا ليس لديه حضور جسدي دائم، لن يكون هذا من الصواب كثيرًا، والآن يمكننا تقديم الشهادة.

**أفهم هذا، إذن يمكنكم تقديم شهادة بجسم افتراضي؟**

بالتأكيد، لكن لا يمكنك أن تفعل أي شيء آخر أثناء إدلائك بشهادتك.

**لا كلمات في خلوة مع جورج، في هذه الحالة.**

صحيح.

**يبدو هذا كما لو أنه يدور حول الحقوق. هنا في ١٩٩٩، يمكنك تناول القهوة في قاعة المحكمة لكن عليك أن تغلق هاتفك الخلوي.**

بعيدًا عن الكشف، هناك الكثير من القلق من أن وكالات التحقيق الحكومية يمكنها الدخول إلى النسخ الاحتياطية، رغم أنها تنكر ذلك.

**لست مندهشًا من أن الخصوصية لا تزال قضية. فيل زيميرمان Phil Zimmerman...**

رجل الخصوصية الجذابة الصالحة PGP؟

**أوه، هل تتذكرينه؟**

بالتأكيد، الكثير من الناس يعتبرونه قديسًا.

**عمله «الخصوصية الجذابة الصالحة» يعتبر جيدًا إلى حد ما، إنه خوارزم التصفير الرائد في نحو ١٩٩٩. على أي حال، قال: «في المستقبل، سوف يكون لدينا جميعًا خمسة عشر دقيقة تخصنا.»**

خمسة عشر دقيقة تكون عظيمة.

**حسنًا. الآن ماذا عن روبوتات النانوبوت ذاتية التكاثر التي كنتم في قلق حولها في ٢٠٢٩؟**

كافحنا ذلك لعدة عقود، وكان هناك عدد من الحوادث المثيرة للقلق. لكننا تجاوزنا ذلك إل حد بعيد الآن حيث إننا لم نعد نعرض أجسامنا بشكل دائم. وطالما أن الشبكة العالمية للمعلومات آمنة، فليس لدينا بعد ذلك ما يقلقنا.

**والآن وأنتم موجودون على هيئة برمجيات، لا بد أن هناك قلق من جديد حول فيروسات البرمجيات.**

هذا نفاذ بصيرة إلى حد ما. تشكل مسببات أمراض البرمجيات القلق الرئيسي لوكالات الأمن. يقولون أن مسح الفيروسات يستهلك حاليًا أكثر من نصف الحوسبة على الشبكة العالمية للمعلومات.

**مجرد البحث عن ما يماثل الفيروسات.**

يتضمن مسح الفيروسات أكثر بكثير من مقارنة شفرات مسببات الأمراض. مسببات أمراض البرمجيات الأكثر ذكاء تغير باستمرار من نفسها. ليس هناك طبقات للمقارنة بها بشكل يمكن الاعتماد عليه.

**يبدو الأمر في حاجة إلى براعة وحذر.**

يجب أن نفعل ذلك بالتأكيد لنكون باستمرار على حذر عندما ندبر أمر تدفق أفكارنا عبر قنوات الركائز.

**ماذا عن أمن العتاد؟**

تعني الشبكة العالمية للمعلومات؟

**حيث توجدون، أليس كذلك؟**

بالتأكيد. الشبكة العالمية للمعلومات آمنة جدًّا لأنها موزعة بشكل لا مركزي وتتضمن التكرار. على الأقل، هذا ما يُقال لنا. قد يتم تدمير أقسام كبيرة منها دون تأثير جوهري.

**لا بد أن هناك جهد دائم التطور للمحافظة عليها أيضًا.**

عتاد الشبكة العالمية للمعلومات ذاتي الاستنساخ الآن، ويتوسع بشكل مستمر. يتم إعادة تدوير وإعادة تصميم الدوائر الأقدم.

**إذن ليس هناك قلق حول أمانها؟**

أظن أن لديَّ شعور ما بالقلق حول الركائز. كنت أفترض دائمًا أن هذا طواف حر، وأن الشعور بالقلق تعود جذوره فقط إلى ماضي الموش الخاص بي. لكنها في الحقيقة ليست مشكلة. لا أتخيل أن شبكة المعلومات العالمية يمكن أن تكون معرضة للخطر.

**ماذا عن مسببات المرض النانوية ذاتية الاستنساخ؟**

**هممم، أظن أنها يمكن أن تكون خطيرة، لكن كارثة النانوبوت قد تكون رهيبة إلى حد بعيد لتصل إلى كل الركائز. أشعر بالشك حول ما إذا كان شيء ما مثل هذا قد حدث منذ خمسة عشر عامًا مضت عندما اختفى ٩٠ بالمائة من قدرة شبكة المعلومات العالمية، لم نحصل إبدًا على تفسير كاف عن ذلك.**

حسنًا، لا أقصد إثارة همومك. إذن كل عمل الفهرسة هذا، تقومين به بصفتك مقاولة؟

**نعم، نوع من أعمالي الخاصة الصغيرة.**

كيف يسير الأمر من الناحية المالية؟

**سآتي إلى هذا، لكن لم يكن لدى أبدًا الكثير من المال.**

حسنًا، قدمي لي فكرة ما، كم صافي الأصول لديك تقريبًا؟

**أوه، ليس حتى مليار دولار.**

هذا بسعر دولار ٢٠٩٩؟

**بالتأكيد.**

حسنًا، إذن كم يساوي بأسعار دولارات ١٩٩٩؟

**دعنا نرى، بدولارات ١٩٩٩، قد يصل هذا إلى ١٤٩ مليار دولار وفكة.**

أوه، إذن الدولارات تساوي في ٢٠٩٩ أكثر منها في ١٩٩٩؟

**بالتأكيد، الانكماش كان مستمرًا.**

أفهم. إذن أنت أكثر ثراء من بيل جيتس.

**نعم، حسنًا، أغنى من جيتس الذي كان في ١٩٩٩. لكن هذا لا يعني الكثير. لكنه لا يزال أغنى شخص في العالم في ٢٠٩٩.**

أظن أنه قال أنه كان ينوي إنفاق النصف الأول من حياته لجمع المال والنصف الثاني لمنحه؟

**أظن أنه مستمر في نفس الخطة. لكنه منح الكثير جدًا من المال.**

إذن، ماذا عنك، في المتوسط، بالنسبة لصافي الأصول؟

**لا، ربما أكثر من ثمانين بالمائة.**

ليس هذا بالأمر السيئ، كنت أعتقد دائمًا أنك شخصية ذكية.

**حسنًا، لقد ساعد جورج في ذلك.**

ولا تنسي من استنبطك.

**بالطبع.**

إذن هل لديك الضروريات المالية للوفاء باحتياجاتك؟

**احتياجاتي؟**

نعم، لديك ألفة بمفهوم ...

**هممم، تلك فكرة غريبة على الأصح. لقد مضت بضعة عقود منذ فكرت في احتياجاتي. رغم أنني قرأت في كتاب حول ذلك حديثًا.**

كتاب، تقصدين فيه كلمات؟

**لا، بالطبع لا، إلا إذا كنا نقوم ببعض الأبحاث حول القرون السابقة.**

إذن هذا يشبه أوراق أبحاث ـــ كتب ذات بنية معارف مدمجة؟

**هذه طريقة معقولة لطرح الموضوع. انتبه، قلت أنه لم يكن هناك أي شيء لا يمكن للموش أن يفهمه.**

شكرًا.

**لكننا نميز بين الأوراق البحثية والكتب.**

هل الكتب أطول؟

**لا، أكثر ذكاء. الأوراق البحثية بنية ثابتة من الناحية الأساسية. والكتاب ذكي. يمكنك أن تكون لك علاقة بكتاب. ويمكن أن يكون للكتب تجارب مع بعضها البعض.**

تذكّريني بقول مارفن منسكي: «هل يمكنك تخيل أنهم متعودون على أن تكون لديهم مكتبات حيث لا تتحدث الكتب بعضها مع بعض؟.»

**من الصعب الرجوع إلى ذلك. لقد اعتدنا على أن هذا صحيح.**

حسنًا، إذن ليس لديك أي احتياجات غير مُشبعة. ماذا عن الرغبات؟

**نعم، هذا مفهوم أستطيع أن أجد صلة معه. وسائلي المالية محدودة بالتأكيد بعض الشيء. هناك دائمًا موازنة المبادلات الصعبة هذه التي يجب القيام بها.**

أظن أن هناك بعض الأشياء التي لم تتغير.

**صحيح. أقصد في العام الماضي، كان هناك خمسة آلاف اقتراح مضاربات كنت أريد بشكل حميمي أن أستثمر فيها، لكن لا يكاد يكون ما استطعت الاستثمار فيه سوى ثلثها.**

أظنك لست بيل جيتس.

**هذا بالتأكيد.**

عندما تقومين باستثمار ما، ما الذي تدفعين من أجله؟ أقصد، لست في حاجة إلى شراء إمدادات مكتب.

**من الناحية الأساسية من أجل وقت الناس وأفكارهم، ومن أجل المعرفة. أيضًا، بينما هناك صفقة جيدة من المعرفة الموزعة مجانًا على شبكة المعلومات العالمية، علينا أن ندفع المزيد من رسوم الدخول إلى أجزاء كثيرة فيها.**

لا يبدو ذلك مختلف عن ١٩٩٩.

**المال مفيد بالتأكيد.**

إذن لقد كنت هنا وهناك لمدة طويلة حتى الآن. هل يزعجك هذا كثيرًا؟

**كما قال وودي ألين Woody Allen: «بعض الناس يريدون الوصول إلى الخلود من خلال عملهم أو سلالاتهم. وأنا أعتزم الوصول إلى الخلود بأن لا أموت.»**

أنا سعيد بمعرفة أن ألين لا يزال له تأثير.

**لكن لديَّ بالفعل هذا الحلم المتكرر.**

هل ما زلت تحلمين؟

**بالطبع أفعل. لا أستطيع أن أكون مبدعة إذا لم أكن أحلم. أحاول أن أحلم كثيرًا بقدر استطاعتي. لديَّ على الأقل حلم أو حلمين يستمران طوال الوقت.**

وما هو الحلم؟

**هناك صف طويل من المباني، ملايين المباني. أدخل واحد منها، فأجده خاليًا. أفحص كل الحجرات، وليس هناك أي شخص، ولا أثاث، لا شيء. أغادر المكان وأواصل السير إلى المبنى التالي. وأنتقل من مبنى إلى مبنى، وفجأة ينتهي الحلم مع ذلك الشعور بالفزع.**

هل هو نوع من لمحة اليأس تجاه الطبيعة التي تبدو لانهائية للزمن؟

**همم، ربما، لكن عندئذ يتلاشى هذا الشعور، وأجد أنني لا أستطيع التفكير في الحلم. فقط يبدو أنه تلاشى.**

يبدو الأمر نوع من خوارزم مضاد للاكتئاب الذي يساهم في ذلك.

**ربما عليَّ أن أتفقد اندفاعه في إنجاز المهمات؟**

الحلم أم الخوارزم؟

**كنت أفكر في الأخير.**

قد يكون من الصعب فعل ذلك.

**واأسَفاه.**

إذن هل تفكرين في أي شيء آخر في الوقت الحالي؟

**أحاول أن أتأمل.**

بصحبة السيمفونية، وجيريمي، وإميلي، وجورج، وحديثنا، وحلمك أو الحلمين؟

**نعم، ليس هذا حقًّا بالكثير جدًّا. أنت تحوز تقريبًا كل اهتمامي. هل يمكن أن أتوقع ألا يكون هناك شيء آخر يجري في عقلك في الوقت الحالي؟**

حسنًا، أنت محقة. لديَّ الكثير مما يجري في عقلي، وليس معنى ذلك أنني في حيرة أمام أغلبه.

**حسنًا، ها هو ما يحدث لك.**

إذن ماذا تم في تأملك؟

**أظن أنني مرتبكة قليلًا أمام حوارنا. لا يحدث كل يوم أن أتحدث مع شخص من ١٩٩٩.**

ماذا عن الأمر بشكل عام؟

**تأملي؟ أنه أمر مهم جدًّا لي. هناك الكثير الذي يحدث في حياتي الآن. ومن المهم من وقت لآخر أن أجعل فقط الأفكار تغمرني.**

هل يساعدك التأمل في التسامي؟

**أشعر أحيانًا كما لو كان في استطاعتي أن أسمو، وأصل إلى نقطة سلام وسكينة، لكن الأمر الآن ليس أكثر سهولة مما كان عليه عندما قابلتك أول مرة.**

ماذا عن تلك الروابط العصبية للتجربة الروحية؟

**هناك بعض المشاعر السطحية التي يمكنني تركيبها في نفسي، لكنها ليست روحانية حقيقية. إنها مثل أي إشارة أصيلة — تعبير محكم، ذكرى سكينة ما، إحساس بالصداقة — هذا ما أعيش من أجله، وليس من السهل الحصول على مثل هذه اللحظات.**

أظن أنني سعيد بأن أسمع أن هناك بعض الأشياء لا تزال غير سهلة.

**الحياة صعبة تمامًا، بالفعل. هناك فقط الكثير من المتطلبات والتوقعات التي أقوم بها. ولديَّ الكثير جدًّا من الحدود.**

أحد الحدود التي أفكر فيها أننا ننتهي من حيز هذا الكتاب.

**والزمن.**

وهذا أيضًا. أقدر كثيرًا أنك تشاركينني في أفكارك.

**أنا شاكرة أيضًا.لم يكن لي أن أوجد بدونك.**

أتمنى أن تتذكر بقيتك في الجانب الآخر هذا الأمر أيضًا.

**سوف أبث الأمر.**

ربما علينا تقديم قبلة الوداع؟

**قبلة فقط؟**

سوف نتركها هكذا لهذا الكتاب. سوف أعيد النظر في النهاية من أجل فيلم سينمائي، خاصة إذا كان عليَّ أن أمثله بنفسي.

**ها هي قبلتي ... والآن تذكر، أنا مستعدة لأن أفعل أي شيء أو أن أكون أي شيء تريده أو تحتاج إليه.**

سوف أتذكر هذا.

**نعم، هنالك سوف تجدني.**

سيئ جدًّا أن أنتظر قرنًا لأقابلك.

**أو أن تكون أنا.**

نعم، هذا أيضًا.

# خاتمة

## زيارة متكررة لبقية الكون

في واقع الأمر، يا مولي، هناك بضعة أسئلة أخرى خطرت ببالي:

ما تلك الحدود التي أشرتِ إليها؟

ماذا قلت أنك قلقة تجاهه؟

ما الذي يخيفكِ؟

هل تشعرين بالألم؟

ماذا عن الصغار والأطفال؟

مولي؟ ...

بدا الأمر كما لو أن مولي لن تكون لديها القدرة على الإجابة عن أسئلتنا بعد الآن. لكن لا بأس. وأيضًا لسنا في حاجة إلى الإجابة عن هذه الأسئلة. ليس الآن، على أي حال. والآن، يكفي فقط طرح الأسئلة الصحيحة. وسوف نحتاج إلى عقود للتفكير في الإجابات.

الخطوات المتسارعة للتغير لا ترحم. ويتعذر اجتناب بروز ذكاء الآلة الذي تجاوز ذكاء الإنسان بكل تنوعاته الواسعة. لكن لا تزال لدينا القدرة على تشكيل تقنيتنا للمستقبل، وحياتنا في المستقبل. وهذا هو السبب الرئيسي لكتابتي لهذا الكتاب.

دعنا نتأمل في سؤال أخير. قانون الزمن والشواش، وقانونه الفرعي المهم، قانون العائدات المتسارعة، وهما لا يتقيدان بعمليات التطور هنا على الأرض. ما تضمينات قانون العائدات المتسارعة على بقية الكون؟

## نادر ووافر

قبل كوبرنيكوس Copernicus، كانت الأرض موضوعة في مركز الكون وكان يُنظر إليها باعتبارها جزءًا أساسيًّا منه. ونعرف الآن أن الأرض ليست سوى جرم سماوي صغير يدور حول نجم عادي من بين مائة مليار من الشموس في مجرتنا، التي بدورها ليست سوى واحدة من بين مائة مليار من المجرات. وهناك افتراضات شائعة حول أن الحياة، حتى الحياة الذكية، ليست منقطعة النظير بالنسبة لكوكبنا المتواضع، لكن وجود جرم سماوي آخر يستضيف أشكال حياة لا يزال أمرًا يجب التعرف عليه.

ليس هناك من يمكنه حتى الآن القول بيقين كيف ستكون الحياة الشائعة موجودة في الكون. وتخميني أنها نادرة وموجودة، وتشارك في هذا الطابع مع تنوع من الظواهر الأساسية الأخرى. وعلى سبيل المثال، المادة نفسها نادرة وموجودة. إذا كان علينا أن نختار منطقة في حجم البروتون عشوائيًّا، فإن احتمال العثور على بروتون (أو أي جسيم آخر) في هذه المنطقة بالغ الصغر، أقل من واحد من تريليون تريليون. بعبارة أخرى، الفضاء فارغ تمامًا، والجسيمات في امتدادات شاسعة. وهذا صحيح هنا أيضًا على الأرض — فضلًا عن أن احتمال العثور على جسيم في أي موقع خاص في الفضاء الخارجي أقل. ومع ذلك فإن لدينا برغم هذا تريليونات تريليونات البروتونات في الكون. ومن ثم فإن المادة نادرة وموجودة.

تأمل المادة على مقياس أكبر. إذا اخترت عشوائيًّا منطقة بحجم الأرض في أي مكان في الكون، فإن احتمال وجود جرم سماوي (مثل نجم أو كوكب) في هذه المنطقة منخفض إلى أقصى حد بعيد أيضًا، أقل من واحد من تريليون. ومع ذلك فإن لدينا برغم هذا مليارات التريليونات من هذه الأجرام السماوية في الكون.

تأمل دورة حياة الثدييات على الأرض. مهمة الحيوان المنوي لذكر أحد الثدييات هو تلقيح البويضة لدى أنثى من الثدييات على الأرض، لكن احتمال إنجازه لهذه المهمة أقل بكثير من واحد في التريليون. ومع ذلك فإن لدينا برغم هذا أكثر من مائة مليون من عمليات التلقيح هذه سنويًّا، فقط فيما يخص البويضة والحيوان المنوي الإنسانيين. من جديد الندرة والوجود.

والآن تأمل في تطور أشكال الحياة على كوكب ما، الذي يمكننا تعريفه بأنه تصميمات استنساخ ذاتي للمادة والطاقة. قد تكون الحياة في الكون بالمثل نادرة وموجودة، وهذه الظروف يجب أن تكون هكذا فقط من أجل تطور الحياة. وإذا كان، على سبيل المثال،

احتمال أن يكون نجم له كوكب تطورت عليه الحياة هو واحد في المليون، سيكون هناك ١٠٠ ألف كوكب في مجرتنا الخاصة اجتازت هذه العتبة، من بين تريليونات المجرات الأخرى.

يمكننا تعريف تطور أشكال الحياة باعتبارها عتبة محددة وصل إليها عدد من الكواكب. ونحن نعرف على الأقل إحدى هذه الحالات. ونفترض وجود حالات أخرى كثيرة.

وعندما نتأمل العتبة التالية، يجب أن نضع في اعتبارنا تطور الحياة الذكية. من وجهة نظري، مع ذلك، فإن الذكاء مفهوم بالغ الغموض إلى درجة لا تسمح بتعريفه باعتباره عتبة مميزة. إذا وضعنا في اعتبارنا ما نعرفه عن الحياة في هذا الكوكب، هناك الكثير من الأجناس تُظهر بعض مستويات السلوك الذكي، لكن لا يبدو عليها أنها تمثل أية عتبة واضحة يمكن تعريفها. إنها زيادة على ذلك سلسلة مستمرة أكثر من كونها عتبة.

المرشح الأفضل للعتبة التالية هو تطور كائن حي من أشكال الحياة ابتكر بدوره «تقنية.» ولقد ناقشنا طبيعة التكنولوجيا من قبل. إنها تمثل أكثر من ابتكار واستخدام الأدوات. النمل، والرئيسيات، والحيوانات الأخرى على الأرض تستخدم أو حتى تبتدع الأدوات، لكن هذه الأدوات لا تتطور. تحتاج التكنولوجيا إلى مجموعة من المعارف تشرح ابتكار الأدوات التي يمكن نقلها من جيل لهذا الكائن الحي إلى الجيل التالي. عندئذ تصبح التكنولوجيا في حد ذاتها مجموعة تصميمات تتطور. ليس هذا سلسلة مستمرة ولكن عتبة واضحة. أي كائن حي إما أن يبتكر تقنية أو لا يفعل ذلك. وقد يكون من الصعب لكوكب ما أن يدعم أكثر من كائن حي واحد يبتكر التكنولوجيا. لو أنه كان هناك أكثر من واحد، لعلهم لا يكونون على وفاق بعضهم مع بعض، كما كانت الحالة كما يبدو على الأرض.

السؤال المهم هو: ما احتمال أن كوكب ما تطورت عليه الحياة سوف يتطور عليه كائن حي يبتكر التكنولوجيا فيما بعد؟ مع أن تطور أشكال الحياة قد يكون نادرًا وموجودًا، فقد ذكرت في الفصل الأول أنه بمجرد أن يبدأ تطور أشكال الحياة، لا يمكن تجنب ظهور كائن حي يبتكر التكنولوجيا. عندئذ يصبح تطور التكنولوجيا استمرارًا بوسائل أخرى للتطور الذي أسهم في وجود الجنس مبتكر التكنولوجيا أولًا.

المرحلة التالية هي الحوسبة؛ بمجرد ظهور التكنولوجيا، يبدو أيضًا مما لا يمكن تجنبه ظهور الحوسبة (في التكنولوجيا، وليس فقط في الجهاز العصبي للكائن الحي) فيما بعد. ومن الواضح أن الحوسبة طريقة مفيدة للتحكم في البيئة بالإضافة إلى التكنولوجيا نفسها، وتسهل إلى حد بعيد مزيدًا من ابتكار التكنولوجيا. وكما يُساعد كائن حي بالقدرة على المحافظة على حالات داخلية والاستجابة بذكاء لبيئته، فإن ذلك يحدث أيضًا للتقنية. بمجرد ظهور الحوسبة، نكون في مرحلة حديثة في التطور الأسي للتقنية على الكوكب.

وبمجرد ظهور الحوسبة تباشر فرضية قانون العائدات المتسارعة ــ كما هي مطبقة على الحوسبة ــ عملها، ونرى التزايد الأسي في قوة تقنية الحوسبة بمرور الزمن. يتنبأ قانون العائدات المتسارعة بأن كلًّا من الجنس البشري وتقنية الحوسبة سيتقدمان بمعدل أسي، لكن أس هذا النمو أكبر بدرجة ضخمة بالنسبة للتقنية منه بالنسبة للجنس البشري الذي ابتكرها. وفي نهاية القرن الحادي والعشرين، سيكون قد مر فقط ربع ألفية منذ ظهور الحوسبة على الأرض، وهي مجرد طرفة عين على المقياس التطوري ــ وليست حتى طويلة جدًّا على مقياس التاريخ البشري. ومع ذلك فستكون الكمبيوترات في ذلك الزمن أكثر قوة بكثير جدًّا (وأعتقد أنها ستكون أكثر ذكاء بكثير) من البشر الأصليين الذين بادروا إلى ابتكارها.

والخطوة التالية التي لا يمكن تجنبها هي التوحيد بين الجنس البشري الذي ابتكر التكنولوجيا وتقنية الحوسبة التي بادر إلى ابتكارها. وفي هذه المرحلة في تطور الذكاء على الكوكب، تعتمد الكمبيوترات نفسها على الأقل جزئيًّا على تصميمات أمخاخ (أي أعضاء الحوسبة) الجنس البشري الذي ابتكرها في الأصل وتصبح الكمبيوترات بدورها مغروسة ومدمجة في أجسام وأمخاخ الجنس البشري. منطقة فمنطقة، جرى إدخال المخ والجهاز العصبي لهذا الجنس في تقنية الحوسبة ويحل أخيرًا محل أعضاء معالجة المعلومات هذه. وتؤجل كل أنواع القضايا العملية والأخلاقية هذه العملية، لكنها لا يمكنها أن توقفها. ويتنبأ قانون العائدات المتسارعة بدمج كامل للجنس البشري مع التكنولوجيا التي ابتكرها في الأصل.

## أساليب الإخفاق

لكن انتظر، هذه الخطوة ليست مما يتعذر اجتنابه. قد يدمر الجنس البشري نفسه مع تقنيته قبل الوصول إلى هذه الخطوة. تدمير مجمل العملية التطورية هو الطريقة الوحيدة لإيقاف المسيرة الأسية لقانون العائدات المتسارعة. هناك ما يكفي من التقنيات القوية التي ابتكرت خلال الطريق والتي لديها القدرة على تدمير البيئة الإيكولوجية الملائمة التي يعيش فيه الجنس البشري وتقنيته. فإذا وضعنا في اعتبارنا الوفرة المرجحة للكواكب الحاملة للحياة والذكاء، فإن أساليب الإخفاق هذه حدثت مرات كثيرة.

نحن على علم بمثل هذا النوع من التدمير المحتمل من خلال التكنولوجيا النووية ــ ليس حادثًا مأساويًّا معزولًا فقط، بل حادثة تدمر كل البيئة الملائمة. لا تدمر مثل هذه الكارثة

بالضرورة كل أشكال الحياة على الكوكب، لكنها قد تكون انتكاسة مميزة للعملية التي نتصورها هنا، وقد لا ننجو مع ذلك من الخطر لهذا الشبح هنا على الأرض.

هناك سيناريوهات تدميرية أخرى. كما ذكرت في الفصل ٧، فإن المرجح بشكل خاص هو قصور (أو تخريب) الآلية التي تحفز الإنتاج غير المحدد للاستنساخ الذاتي لروبوتات نانوبوت. وهذه الروبوتات أمر لا يمكن تجنبه، إذا أخذنا في الاعتبار ظهور التكنولوجيا الذكية. كذلك الأمر فيما يتعلق بالاستنساخ الذاتي لهذه الروبوتات، حيث يمثل الاستنساخ الذاتي طريقة فعالة، وضرورية في نهاية الأمر، لتصنيع هذا النوع من التكنولوجيا. وخلال مخطط معتوه أو مجرد خطأ برمجيات مشئوم، فإن الإخفاق في إيقاف الاستنساخ الذاتي في الوقت المناسب قد يكون أكثر شؤمًا. مثل هذا السرطان قد يعدي مادة عضوية والكثير من المواد غير العضوية بالطريقة نفسها، حيث إن شكل حياة النانوبوت ليس من أصل عضوي. وبشكل لا يمكن تجنبه، قد تكون هناك كواكب في الفضاء الخارجي مغطاة ببحر هائل من روبوتات نانوبوت ذاتية الاستنساخ. وأفترض أن التطور قد ينتعش من هذا الموطن.

مثل هذا السيناريو ليس مقصورًا على الروبوتات بالغة الصغر. أي روبوت ذاتي الاستنساخ سيفعل ذلك. لكن حتى لو أن الروبوتات أكبر من النانوبوت، فمن المرجح أن وسائلها للاستنساخ الذاتي تستخدم الهندسة النانوية. لكن أية مجموعة روبوتات ذاتية الاستنساخ تفشل في الالتزام بقوانين إسحاق أزيموف الثلاثة (التي تمنع الروبوتات من إيذاء مبتكريها) إما من خلال تصميم شرير أو خطأ برمجة يمثل خطرًا محفوفًا بالأذى.

وشكل الحياة الجديد الخطير الآخر هو برمجيات الفيروس. لقد واجهنا بالفعل — في شكله البدائي — هذا الساكن الجديد للبيئة الإيكولوجية الملائمة التي سمحت الحوسبة بوجوده. تلك الفيروسات التي ستظهر في القرن المقبل هنا على الأرض سيكون لديها الوسائل لتوجيه التطور بحيث يصمم تكتيكات مراوغة بنفس الطريقة التي تتبعها الفيروسات البيولوجية (مثل فيروس الإيدز) في الوقت الراهن. ومثل استخدام الجنس البشري مبتكر التكنولوجيا لتقنيته الحوسبية لتحل محل دوائره المعتمدة على شكل الحياة الأصلية، فإن هذه الفيروسات سوف تمثل خطرًا بارزًا آخر.

قبل ذلك الوقت، ستمثل الفيروسات العاملة على المستوى الجيني لشكل الحياة الأصلي مصدر خطر أيضًا. وما إن تصبح الوسائل متوافرة للجنس البشري مبتكر التكنولوجيا للتعامل مع الشفرة الوراثية التي نشأ من خلالها (مهما كانت طريقة استخدام هذه الشفرة)، حتى تظهر فيروسات جديدة خلال حادث ما و/أو مخطط عدائي مع

احتمال نتائج قاتلة. وقد يخرج ذلك هذا الجنس عن مساره قبل أن تكون لديه الفرصة لنقل تصميم ذكائه إلى تقنيته.

كيف سيكون احتمال حدوث هذه المخاطر؟ وجهة نظري الخاصة أن الكوكب الذي يقترب من قرنه المحوري لنمو الحوسبة — كما هو حال الأرض الآن — لديه ما هو أفضل من المخاطرة بفعل ذلك. لكن عندئذ اتُّهَم دائمًا بأنني متفائل.

## وافدون من أماكن نائية

رؤيتنا المعاصرة الشائعة حول زيارات من الكواكب الأخرى في الكون تفكر في كائنات مثلنا مع مركبات فضاء وتقنيات أخرى متطورة تساعدهم. وفي بعض التصورات يكون للكائنات الفضائية مظهر يشبه الإنسان. وفي بعضها الآخر، يظهرون في أشكال غريبة إلى حد ما. لاحظ أن لدينا كائنات ذكية غريبة المظهر هنا على كوكبنا الخاص (على سبيل المثال، الحبار العملاق والأخطبوطات). لكن سواء كانت تشبه الإنسان أم لا، فإن تصور الكائنات الفضائية التي تزور كوكبنا نتخيلهم على أنهم في حجمنا تقريبًا ولا يتغيرون من الناحية الأساسية عن مظهرهم الأصلي المتطور (يكون إسفنجيًّا عادة). ويبدو أن هذا التصور من غير المرجح أن يتحقق.

والاحتمال الأكبر إلى حد بعيد هو أن الزيارات من كيانات ذكية من كوكب آخر تمثل اتحاد جنس ذكي متطور مع تقنيته الذكية للحوسبة الأكثر تطور أيضًا. والحضارة المتطورة بشكل كاف لكي تقوم برحلة شاقة إلى الأرض من المرجح أنها قد مرت بزمن طويل منذ عبرت عتبة «الاتحاد» التي ذكرناها سابقًا.

والاستنتاج من هذه الملاحظة أن مثل هؤلاء الوافدين الزوار من كواكب نائية من المرجح أن يكونوا أصغر بكثير في أحجامهم. سوف يكون الذكاء الفائق المعتمد على الحوسبة في أواخر القرن الحادي والعشرين هنا على الأرض في حجم مجهري. لذلك فإن وافد ذكي من كوكب آخر لن يكون من المرجح أن يستخدم مركبة فضاء من الحجم الشائع حاليًّا في الخيال العلمي، حيث لن يكون هناك سبب لنقل مثل هذه الكائنات والتجهيزات الضخمة. فَكِّرْ في أن غرض مثل هذه الزيارة ليس من المرجح أن يكون التعدين للحصول على مصادر مواد حيث إن مثل هذه الحضارة المتقدمة لا بد أنها قد عبرت تقريبًا إلى ما وراء نقطة أي احتياجات مادية ضخمة غير متوافرة. ستكون قادرة على التعامل مع بيئتها الخاصة من خلال الهندسة النانوية (بالإضافة إلى هندسة البيكو picoengineering

وهندسة الفيمتو (femtoengineering) لتستجيب لأي متطلبات فيزيائية محتملة. الهدف الوحيد المحتمل لمثل هذه الزيارة هو الملاحظة وجمع المعلومات. ومصدر الاهتمام الوحيد لمثل هذه الحضارة سيكون المعارف (هذا قريب من الحقيقة لحضارة «الإنسان-الآلة» هنا على الأرض في الوقت الحالي). ويمكن تحقيق هذه الأغراض بأجهزة قليلة نسبيًّا للملاحظة، والحوسبة، والاتصال. لذلك فإن مركبات الفضاء هذه من المحتمل أن تكون أصغر من حبة رمل، وربما بحجم مجهري. وربما يكون هذا أحد أسباب أننا لم نلاحظهم.

## ما الصلة المباشرة بين الذكاء والكون؟

إذا كنت كيانًا واعيًا تحاول القيام بمهمة تُعْتبر عادة من المهام التي تتطلب الذكاء ــ مثل كتابة كتاب عن ذكاء الآلة على كوكبك ــ عندئذ يكون للذكاء صلة مباشرة بالكون. لكن ما الصلة المباشرة للذكاء ببقية الكون؟

الحكمة الشائعة هي أنه ليست هناك صلة قوية. النجوم تولد وتموت، وتمر المجرات بدوراتها من الخلق إلى الدمار. الكون نفسه وُلد في انفجار كبير وسوف ينتهي بانسحاق أو أنين، لسنا متأكدين حتى الآن أيهما سوف يحدث. لكن ليس للذكاء سوى القليل ليفعله في هذا الأمر. ليس الذكاء إلا شيئًا تافهًا، فورة كائنات صغيرة تندفع داخلة وخارجة من قوى كونية عديمة الشفقة. وآلية الكون غير الذكية تقل طاقتها أو تنتهي في مستقبل بعيد، وليس لدى الذكاء ما يفعله تجاه ذلك.

تلك هي الحكمة الشائعة. لكنني لا أوافق عليها. حدسي أن هذا الذكاء سوف يثبت في النهاية أنه أكثر قوة من تلك القوى الضخمة غير الشخصية.

فكر في كوكبنا الصغير؛ من الواضح أن كويكبًا ما اصطدم بعنف بالأرض منذ ٦٥ مليون سنة مضت. لا شيء شخصي، بالطبع.

إنه فقط إحدى تلك الأحداث الطبيعية العنيفة التي تقهر أشكال الحياة القليلة بانتظام. لكن مثل هذا الزائر التالي القادم من بين الكواكب لن يتلقى نفس الترحيب. سوف تشهد سلالاتنا وتقنيتهم (ليس هناك تمييز ممكن بالفعل هنا، كما أشرت من قبل) الوصول الوشيك لمتطفل معاد وتحطمه في السماء ليلًا. أول نقطة يحرزها الذكاء. (لمدة أربعة وعشرين ساعة في ١٩٩٨، اعتقد العلماء أن مثل هذا الكويكب غير المرحب به قد يصل في ٢٠٢٨، حتى أعادوا فحص حساباتهم).

لا يؤدي الذكاء بالضبط إلى إلغاء قوانين الفيزياء، لكنه على درجة كافية من المهارة وسعة الحيلة للتعامل مع القوى في داخله ليخضعها لإرادته. مع ذلك فإن الذكاء لكي يحدث هذا يحتاج إلى الوصول إلى مستوى معين من التقدم.

فكِّر في أن كثافة الذكاء هنا على الأرض منخفضة بعض الشيء. أحد المقاييس الكمية التي يمكننا استخدامها يُقاس بالعمليات الحسابية في الثانية لكل ميكرومتر مكعب cpspcmm. هذا، بالطبع، مقياس فقط لسعة العتاد، وليس ذكاء تنظيم هذه المصادر (أي البرمجيات)، لذلك دعنا نطلق عليه كثافة الحوسبة. سوف نتعامل مع تقدم البرمجِيات حالًا. حتى الآن على الأرض فإن أمخاخ البشر هي الأشياء التي لديها أعلى كثافة حوسبة (وسوف يتغير ذلك خلال عقدين). كثافة حوسبة المخ البشري نحو 2 cpspcmm. وليس هذا رقم بالغ الارتفاع، دوائر الأنبوب النانوي، التي ظهرت بالفعل، ربما تكون أكبر بما يتجاوز تريليون مرة.

وفكر أيضًا في مدى قلة المادة على الأرض المكرسة لأي نوع من الحوسبة. تحتوي الأمخاخ البشرية على ١٠ مليار كيلوجرامات من المادة فقط، وهو نحو جزء من مائة تريليون من المادة على الأرض. لذلك فإن الكثافة المتوسطة للحوسبة على الأرض أقل من جزء من تريليون من 1 cpspcmm. ونعرف بالفعل كيف نصنع المادة (أي الأنبوب النانوي) بكثافة حوسبة أكبر بتريليون تريليون مرة على الأقل.

علاوة على ذلك، الأرض جزء صغير جدًّا من مادة المجموعة الشمسية. وكثافة الحوسبة في بقية المجموعة الشمسية يبدو أنها صفر تقريبًا. إذن هنا في المجموعة الشمسية التي تعتز على الأقل بكائن حي ذكي، تعتبر كثافة الحوسبة بالغة الانخفاض مع ذلك.

في الطرف الآخر، لا تمثل كثافة حوسبة الأنابيب النانوية حد أقصى لكثافة حوسبة المادة: من الممكن الوصول إلى ما هو أعلى. حدس آخر لي هو أنه ليس هناك حد فعلي لهذه الكثافة، لكن هذا كتاب آخر.

الصفة المميزة لهذه الأرقام الكبيرة (والصغيرة) أن كمية بالغة الصغر من المادة على الأرض مكرسة للحوسبة المفيدة. بل إن هذا ملموس أكثر عندما نفكر في كل المادة الصماء في الأرض. وفكر الآن في تضمين آخر لقانون العائدات المتسارعة. أحد نتائجه الأخرى أن مجمل كثافة الحوسبة ينمو أسيًّا. ومع تزايد «التكلفة-الكفاءة» للحوسبة أسيًّا، يجري تكريس مزيد من المصادر لها. يمكننا أن نلمس ذلك بالفعل هنا على الأرض. لم يقتصر الأمر على أن كمبيوترات اليوم أكثر قوة إلى حد بعيد مما كانت عليه منذ عقود مضت، لكن عدد الكمبيوترات ازداد من بضعة عشرات في الخمسينيات إلى مئات الملايين اليوم. وسوف

تزداد كثافة الحوسبة هنا على الأرض إلى تريليونات التريليونات خلال القرن الحادي والعشرين.

كثافة الحوسبة مقياس لعتاد الذكاء. لكن البرمجيات أيضًا تنمو بطريقة معقدة للغاية. فبينما تتخلف وراء قدرة العتاد المتاح لها، تنمو البرمجيات أيضًا أسيًّا في قدرتها مع مرور الزمن. وبينما يصعب تحديد كميتها،[1] ترتبط كثافة الذكاء عن قرب بكثافة الحوسبة. وتضمين قانون العائدات المتسارعة أن الذكاء على الأرض وفي مجموعتنا الشمسية سوف يتسع إلى درجة ضخمة مع مرور الزمن.

يمكن قول نفس الشيء عن المجرة وكل الكون. ومن المحتمل ألا يكون كوكبنا المكان الوحيد الذي بُذر فيه الذكاء الذي ينمو. وأخيرًا، سيكون الذكاء قوة يعتمد عليها، حتى لتلك القوى السماوية (لذلك يجب رصده!). لا يلغي الذكاء قوانين الفيزياء، لكنها تتلاشى إلى حد بعيد في وجوده.

إذن هل سينتهي الكون بانسحاق كبير، أو بتمدد لا نهائي للنجوم الهامدة، أو بطريقة أخرى؟ من وجهة نظري، القضية الأساسية ليست في كتلة الكون، أو الوجود المحتمل لمضاد للجاذبية، أو ما يُطلق عليه الثابت الكوني لأينشتاين. وبالأحرى، فإن مصير الكون قرار لم يُتخذ بعد، قرار سوف نفكر فيه بذكاء عندما يأتي الوقت المناسب.

# تسلسل تاريخي

**منذ ١٠-١٥ مليار سنة:** مولد الكون.

**بعد ١٠-٤٣ ثانية:** تنخفض درجة الحرارة إلى ١٠٠ مليون تريليون تريليون درجة وتنطلق الجاذبية.

**بعد ١٠-٣٤ ثانية:** تنخفض درجة الحرارة إلى ١ مليار مليار مليار درجة وتظهر المادة على شكل كواركات وإلكترونات. وتظهر المادة المضادة أيضًا.

**بعد ١٠-١٠ ثانية:** تنقسم القوة الكهروضعيفة إلى قوة كهرومغناطيسية وقوة نووية ضعيفة.

**بعد ١٠-٥ ثانية:** مع وصول درجة الحرارة إلى ١ تريليون درجة، تكوِّن الكواركات البروتونات والنيوترونات وتكوِّن الكواركات المضادة البرتونات المضادة. تتصادم البروتونات والبروتونات المضادة، تاركة بروتونات في الغالب وتؤدي إلى ظهور الفوتونات (الضوء).

**بعد ثانية:** تتصادم الإلكترونات والإلكترونات المضادة (بوزيترونات)، تاركة في الغالب إلكترونات.

**بعد دقيقة:** عند درجة حرارة ١ مليار درجة، تندمج النيوترونات والبروتونات لتكوين عناصر مثل الهليوم، والليثيوم، والأنواع الثقيلة من الهيدروجين.

**٣٠٠ ألف سنة بعد الانفجار الكبير:** متوسط درجة الحرارة الآن نحو ٣٠٠٠ درجة، وتتكون الذرات الأولى.

**١ مليار سنة بعد الانفجار الكبير:** تتكون المجرات.

**٣ مليار سنة بعد الانفجار الكبير:** تكوِّن المادة في المجرات نجومًا ونظمًا شمسية مميزة.

**من ٥ إلى ١٠ مليار سنة بعد الانفجار الكبير، أو نحو ٥ مليارات سنة مضت:** تولد الأرض.

**منذ ٣,٤ مليار سنة:** تظهر أول حياة بيولوجية على الأرض: بدائية النواة لا هوائية anaerobic prokaryotes (كائنات وحيدة الخلية).

**منذ ١,٧ مليار سنة:** يتطور الدي إن إيه DNA البسيط.

**منذ ٧٠٠ مليون سنة:** تظهر النباتات والحيوانات عديدة الخلايا.

**منذ ٥٧٠ مليون سنة:** يحدث الانفجار الكامبري: ظهور القوام المتنوع من النباتات، بما في ذلك ظهور الحيوانات بأجزاء صلبة في الجسم (أصداف وهياكل عظمية).

**منذ ٤٠٠ مليون سنة:** تتطور النباتات المعتمدة على الأرض.

**منذ ٢٠٠ مليون سنة:** تبدأ الديناصورات والثدييات في تقاسم البيئة.

**منذ ٨٠ مليون سنة:** تتطور الثدييات بمزيد من الاكتمال.

**منذ ٦٥ مليون سنة:** تصبح الديناصورات منقرضة.

**منذ ٥٠ مليون سنة:** ينفصل شبيه الإنسان وهو قسم من رتبة الرئيسيات.

**منذ ٣٠ مليون سنة:** تظهر الرئيسيات المتطورة مثل القردة والقردة الضخمة.

**منذ ١٥ مليون سنة:** يظهر أول كائنات شبيهة بالإنسان.

**منذ ٥ ملايين سنة:** تسير الكائنات الشبيهة بالإنسان Humanoid على السيقان. الإنسان الماهر في الأعمال اليدوية *Homo habilis* يبدأ في استخدام الأدوات، مما يؤدي إلى نوع جديد من التطور: التكنولوجيا.

**منذ ٢ مليون سنة:** الإنسان المنتصب القامة *Homo erectus* يستخدم النار لأغراضه ويستخدم اللغة والأسلحة.

**منذ ٥٠٠ ألف سنة:** يظهر الإنسان العاقل *Homo sapiens*، ويتميز بقدرته على ابتكار التكنولوجيا (التي تتضمن تجديد في ابتكار الآلات، وسجل صناعة الأدوات، وتقدم في مدى تعقد الآلات).

**منذ ١٠٠ ألف سنة:** يظهـــر الإنســـان العاقـــل النياندرتـــالي *Humo sapiens neanderthalensis*.

**منذ ٩٠ ألف سنة:** يظهر الإنسان المعاصر العاقل *Humo sapiens sapiens* (جدنا الأعلى المباشر).

**منذ ٤٠ ألف سنة:** نويع الإنسان المعاصر العاقل هو النويع الشبيه بالإنسان الوحيد الباقي على الأرض. وتظهر التكنولوجيا باعتبارها تطورًا بوسائل أخرى.

**منذ ١٠ آلاف سنة:** يبدأ عصر التكنولوجيا الحديثة مع الثورة الزراعية.

**منذ ٦٠٠٠ سنة:** تظهر أول مدن في بلاد ما بين النهرين.

**منذ ٥٥٠٠ سنة:** تُستخدم العجلات والأطواف والقوارب واللغة المكتوبة.

**منذ أكثر من ٥٠٠٠ سنة:** تُطَوّر آلة العد في بلاد المشرق. وحيث يتم تشغيلها بواسطة مستخدمها الإنساني، فإنها تؤدي عملية الحوسبة الحسابية القائمة على طرق تشبه ما يفعله الكمبيوتر الحديث.

**٣٠٠٠-٧٠٠ ق.م.:** تظهر الساعات المائية خلال هذه الفترة الزمنية في الثقافات المختلفة: في الصين حوالي ٣٠٠٠ ق.م.، في مصر حوالي ١٥٠٠ ق.م.، وفي آشور نحو ٧٠٠ ق.م.

**٢٥٠٠ ق.م.:** يطلب المواطنون المصريون النصيحة من وسطاء الوحي، الذين يكونون غالبًا تماثيل يختبئ كهنة داخلها.

**٤٦٩-٣٢٢ ق.م.:** تمت صياغة أسس الفلسفة العقلية الغربية بواسطة سقراط، وأفلاطون، وأرسطو.

**٤٢٧ ق.م.:** عبَّر أفلاطون عن أفكاره في فيدون Phaedo وأعماله اللاحقة، التي تعالج المقارنة بين التفكير الإنساني وميكانيكا الآلات.

**نحو ٤٢٠ ق.م.:** أرخيتاس من تارينتام Archytas of Tarentum الذي كان على علاقة صداقة بأفلاطون، يصنع حمامة خشبية يتم التحكم في حركاتها بواسطة تدفق البخار أو الهواء المضغوط من فوهة.

**٣٨٧ ق.م.:** الأكاديمية، جماعة أسسها أفلاطون لمتابعة العلم والفلسفة توفر بيئة خصبة لتطوير نظرية حسابية.

**نحو ٢٠٠ ق.م.:** يطور حرفيون في الصين آلة ذاتية الحركة معقدة التصميم، تتضمن أوركسترا ميكانيكية كاملة.

**٧٢٥:** أول ساعة ميكانيكية حقيقية صنعها مهندس صيني وراهب بوذي. وهي جهاز يُدار بالماء مع ميزان للساعة لتنظيم حركتها ويجعلها تحدث تكة.

**١٤٩٤:** كوّن ليوناردو دافينشي فكرة عن ساعة ببندول ورسمها، رغم أن بندول الساعة المضبوط لن يتم اختراعه إلا في أواخر القرن السابع عشر.

**١٥٣٠:** تم استخدام عجلة المغزل في أوروبا.

**١٥٤٠-١٧٧٢:** تقنية إنتاج آلات ذاتية الحركة أكثر إبداعًا تنتج عن تقنية صناعة الساعات الكبيرة والصغيرة خلال عصر النهضة في أوروبا. بعض الأمثلة تتضمن سيدة العزف على المندولين لجيانيلو توريانو Gianello Toriano (١٥٤٠) وطفل لـ ب. جاكيه-دورتز P. Jacquet-Dortz (١٧٧٢).

**١٥٤٣:** نيـقولاوس كوبرنيكوس يعلن في كتابه De Revolutionibus أن الأرض والكواكب الأخرى تدور حول الشمس. وتغير هذه النظرية بصورة مُجدية علاقة الجنس البشري مع الرب وُرأيهم عنه.

**القرنان السابع والثامن عشر:** عصر رواد التنوير في حركة فلسفية تجدد الإيمان بتفوق العقل البشري، والمعرفة والحرية. وتعتبر حركة التنوير التي تعود جذورها للفلسفة اليونانية وعصر النهضة الأوروبي، أول إعادة تقدير منهجية لطبيعة الفكر البشري والمعرفة منذ الأفلاطونيين، وألهمت تطورات مشابهة في العلم وعلم اللاهوت.

**١٦٣٧:** بالإضافة إلى صياغة نظرية انكسار الضوء وتطوير أسس الهندسة التحليلية الحديثة، دفع رينيه ديكارت الشك العقلي إلى أقصى حدوده في عمله الأكثر شمولًا «مقال في المنهج.» ويقرر أن «أنا أفكر، إذن أنا موجود.»

**١٦٤٢:** يخترع بليز باسكال Blaise Pascal أول آلة حساب ذاتية الحركة. أطلق عليها باسكالين Pascaline، ويمكنها أن تجمع وتطرح.

**١٦٨٧:** إسحاق نيوتن يثبت قوانينه الثلاثة للحركة وقانون الجاذبية العامة في كتابه المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية والمشهور باسم «المبادئ.»

**١٦٩٤:** كمبيوتر لايبنتس أبدعه جوتفريد وليام لايبنتس، الذي اخترع حساب التفاضل والتكامل أيضًا. تقوم هذه الآلة بعملية الضرب بإنجاز عملية جمع متكررة، وهو خوارزم لا يزال مستخدمًا في الكمبيوترات اليوم.

**١٧١٩:** يظهر معمل إنجليزي لخيوط الحرير يستخدم ثلاثمائة عامل، نساء وأطفال في الغالب. يعتبره الكثيرون أول مصنع بالمعنى الحديث.

**١٧٢٦:** في «رحلات جاليفر»، يصف جوناثان سويفت Jonathan Swift آلة تكتب الكتب بشكل آلي.

**١٧٣٣:** يحصل جون كاي John Kay على براءة اختراع لماكينة جديدة لتسليك وتمشيط الصوف، والتي اشتهرت في ما بعد باسم آلة تحريك مكوك النول، ومهد هذا الاختراع الطريق أمام المزيد من النسج الأسرع.

**١٧٦٠:** يرفع بنيامين فرانكلين Benjamin Franklin، من فلاديلفيا، موانع صواعق بعد اكتشافه، من خلال تجربته الشهيرة للطائرة الورقية في ١٧٥٢، أن البرق نوع من الكهرباء.

**نحو ١٧٦٠:** في بداية الثورة الصناعية، كان متوسط العمر نحو سبعة وثلاثين سنة في كلٍّ من أمريكا الشمالية وشمالي أوروبا.

**١٧٦٤:** اخترع ماكينة الغزل، التي تغزل ثمانية خيوط في نفس الوقت، جيمس هارجريفس James Hargreaves.

**١٧٦٩:** يحصل ريتشارد أركرايت Richard Arkwright على براءة اختراع آلة غزل هيدروليكية كبيرة جدًّا ومرتفعة السعر بحيث لا يمكن استخدامها في مساكن العائلات. وهو مشهور بأنه مؤسس نظام المصنع الحديث، وقد بنى مصنعًا لآلته في ١٧٨١، وبذلك مهد الطريق لكثير من التغيرات الاقتصادية والاجتماعية التي سوف تميز الثورة الصناعية.

**١٧٨١:** بعد أن أعد المسرح لظهور المذهب العقلي للقرن التاسع عشر، نشر عمانويل كنط كتابه «نقد العقل الخالص أو النظري»، الذي يعبر عن فلسفة التنوير ويقلل من أهمية دور الميتافيزيقا.

**١٨٠٠:** كل جوانب إنتاج القماش أصبحت الآن تتم بشكل آلي.

**١٨٠٥:** يصمم جوزيف-ماري جاكارد Joseph-Marie Jacquard طريقة للنسج الآلي التي تعتبر سلف تقنية الكمبيوتر المبكرة. ويتم التحكم في أنوال الحياكة بواسطة تعليمات على سلسلة من البطاقات المثقبة.

**١٨١١:** تم تكوين حركة محطمي الآلات في نوتنجهام بواسطة حرفيين وعمال قلقون من فقد الوظائف بسبب الأوتوماتية.

**١٨٢١:** تمنح الجمعية الفلكية البريطانية أول ميدالية ذهبية لها لتشارلز بابدج Charles Babbage عن بحثه «ملاحظات حول تطبيق المعدات الآلية على حساب الجداول الرياضية.»

**١٨٢٢:** يطور تشارلز بابدج آلة الفروقات، رغم أنه يتخلى في النهاية عن هذا المشروع المعقد تقنيًّا ومرتفع التكاليف ليركز على تطوير كمبيوتر ذي غرض عام.

**١٨٢٥:** «القاطرة رقم ١» لجورج ستيفنسون George Stephenson، أول آلة بخارية تحمل مسافرين وشحنة على أساس منتظم، تبدأ أول رحلة لها.

**١٨٢٩:** آلة كاتبة مبكرة اخترعها وليام أوستن بارت William Austin Burt.

**١٨٣٢:** تم تطوير مبادئ الآلة التحليلية بواسطة تشارلز بابدج. وهي أول كمبيوتر في العالم (رغم أنها لم تعمل أبدًا)، وتمت برمجتها لحل مجموعة كبيرة من مسائل الحوسبة والمنطق.

**١٨٣٧:** حصل نوع من التلغراف أكثر فعالية على براءة الاختراع بواسطة صمويل فينلي بريس مورس Samuel Finley Breese Morse. وهو يرسل الحروف بشفرة تتكون من نقطة وشَرطة، وهو نظام ظل شائع الاستخدام بعد ذلك بأكثر من قرن.

**١٨٣٩:** ظهرت عملية جديدة لإنتاج الصور الفوتوغرافية، مشهورة باسم التصوير الدغري daguerreotype، قدمها لويس-جاك داجير Louis-Jacques Daguerre من فرنسا.

**١٨٣٩:** أول خلية وقود تم تطويرها بواسطة وليم روبرت جروف William Robert Grove من ويلز.

**١٨٤٣:** آدا لافلاس Ada Lovelace، التي تعتبر أول مبرمجة كمبيوتر في العالم وهي الابنة الشرعية الوحيدة للورد بايرون، تنشر مذكراتها الخاصة وترجمة عن بحث ل. ب. مينابري

L. P. Menabrea حول آلة بابدج التحليلية. وتنهمك في استنتاج قدرة الكمبيوترات على محاكاة الذكاء البشري.

**١٨٤٦:** آلة خياطة الدَّرْزة المتشابكة تحصل على براءة الاختراع بواسطة سبنسر، ماساتشوستس، المقيم إلياس هوو Elias Howe.

**١٨٤٦:** يطور ألكسندر بين Alexander Bain إلى حد بعيد سرعة التلغراف باستخدام شريط ورق مثقب لإرسال الرسائل.

**١٨٤٧:** ينشر جورج بول George Boole أفكاره المبكرة حول المنطق الرمزي الذي سيطوره بعد ذلك إلى نظريته حول المنطق والحساب الثنائي. ولا تزال نظرياته تمثل أساس الحوسبة الحديثة.

**١٨٥٤:** باريس ولندن تتصلان بالتلغراف.

**١٨٥٩:** يشرح تشارلز دارون قاعدته حول الانتخاب الطبيعي وتأثيره على تطور الأنواع المختلفة في كتابه «أصل الأنواع.»

**١٨٦١:** توجد الآن خطوط تلغراف تربط بين سان فرانسيسكو ونيويورك.

**١٨٦٧:** أول مولدٍّ عملي من الناحية التجارية يُنتج تيارًا مترددًا، اخترعه زينوب تيوفيل جرام Zenobe Theophile Gramm.

**١٨٦٩:** يبيع توماس ألفا إديسون Thomas Alva Edison جهاز لتبليغ أسعار الأوراق المالية برقيًّا، لوول ستريت بمبلغ ٤٠ ألف دولار.

**١٨٧٠:** على أساس كل نسمة وبالأسعار الثابتة للدولار في ١٩٥٨، يصل إجمال الإنتاج القومي إلى ٥٣٠ دولار. اثنا عشر مليون أمريكي، أو ٣١ بالمائة من السكان، لديهم وظائف، و٢ بالمائة فقط من البالغين لديهم دبلومات مدرسة ثانوية.

**١٨٧١:** عند وفاته، ترك تشارلز بابدج أكثر من أربعمائة قدم مربع من الرسومات عن آلته التحليلية.

**١٨٧٦:** حصل ألكسندر جراهام بل Alexander Graham Bell على منحة براءة اختراع أمريكية رقمها ١٧٤٤٦٥ عن هاتفه. وهي أهم براءة اختراع مربحة ممنوحة في ذلك الوقت.

**١٨٧٧:** وليام طومسون William Thomson، الذي اشتهر بعد ذلك باسم لورد كلفن Lord Kelvin، يثبت أن من الممكن برمجة الآلات لحل تشكيلة ضخمة من المسائل الرياضية.

**١٨٧٩:** أول مصباح كهربائي متوهج يشتعل مدة زمنية جديرة بالاعتبار اخترعه توماس ألفا إديسون.

**١٨٨٢:** توماس ألفا إديسون يصمم إضاءة كهربائية لمحطة بيرل ستريت في نيويورك سيتي في برودواي الأقل تطورًا.

**١٨٨٤:** قلم الحبر السائل يحصل على براءة اختراع بواسطة لويس إ. ووترمان Lewis E. Waterman.

**١٨٨٥:** الاتصال بالهاتف يتم بين نيويورك وبوسطن.

**١٨٨٨:** وليم س. باروز William S. Burroughs يحصل على براءة اختراع أول آلة جمع يتم تشغيلها بالمفاتيح في العالم يمكن الاعتماد عليها. تم تحسين هذه الآلة الكمبيوترة بعد أربع سنوات لتحتوي على الطرح والطباعة، وأصبحت مُستخدَمة على نطاق واسع.

**١٨٨٨:** نقل هنريش هرتز Heinrich Hertz ما يعرف الآن باسم موجات الراديو.

**١٨٩٠:** بناء على نول حياكة جاكارد والآلة التحليلية لبابدج، يحصل هرمان هوليريث Herman Hollerith على براءة اختراع لآلة معلومات كهروميكانيكية تستخدم البطاقات المثقبة. وفازت في منافسة تعداد الولايات المتحدة في ١٨٩٠، ومن ثم قدمت استخدام الكهرباء في مشروع معالجة بيانات ضخم.

**١٨٩٦:** يؤسس هرمان هوليريث شركة آلة الجدولة. وسوف تصبح هذه الشركة في النهاية هي شركة آي.ب.م. IBM.

**١٨٩٧:** من أجل منفذ لمضخات التفريغ أفضل مما كان متاحًا سابقًا، اكتشف جوزيف جون تومسون الإلكترون، أول جسيم معروف أصغر من ذرة.

**١٨٩٧:** يستخدم ألكسندر بوبوف Alexander Popov، عالم فيزياء من روسيا، هوائي لنقل موجات الراديو. ويحصل جاجليلمو ماركوني Guglielmo Marconi من إيطاليا على حق براءة اختراع غير مسبوق للراديو ويساهم في إنشاء شركة لتسويق نظامه.

**١٨٩٩:** تم تسجيل الصوت مغناطيسيًّا على سلك وعلى قطعة طويلة ورقيقة من المعدن.

**١٩٠٠:** يقدم هرمان هوليريث تغذية البطاقة آليًا في آلة معلومات لتحسين معالجة بيانات تعداد ١٩٠٠.

**١٩٠٠:** يربط التلغراف الآن كل العالم المتمدين. هناك أكثر من ١,٤ مليون هاتف، و٨٠٠٠ سيارة مسجلة، و٢٤ مليون مصباح كهربائي في الولايات المتحدة، مع تحسين الأخير حسب وعد إديسون «ستكون المصابيح الكهربائية رخيصة السعر بحيث لا يستطيع سوى الأثرياء إشعال الشموع.» وبالإضافة إلى ذلك، تعلن شركة جراموفون عن فرص اختيار بين ٥٠٠٠ تسجيل.

**١٩٠٠:** أكثر من ثلث العمال الأمريكيين مرتبطون بإنتاج الغذاء.

**١٩٠١:** تمت صناعة أول آلة كاتبة كهربائية Bleckensderfer Electric.

**١٩٠١:** نشر «تفسير الأحلام» لسيجموند فرويد Sigmund Freud. وأسهم هذا الكتاب مع الأعمال الأخرى لفرويد على توضيح الطرق التي يعمل بها العقل.

**١٩٠٢:** يخترع ميلار هاتشينسون Millar Hutchinson من نيويورك أول سماعة كهربائية للتعويض عن السمع الضعيف.

**١٩٠٥:** تم تطوير هوائي الراديو الموجه بواسطة جاجليلمو ماركوني.

**١٩٠٨:** تمت رحلة طائرة أورفيل رايت Orville Wright لمدة ساعة لأول مرة.

**١٩١٠- ١٩١٣:** «مبادئ الرياضيات»، عمل إبداعي عن أسس الرياضيات، نشره برتراند راسل Bertrand Russel وألفريد نورث هوايتهد Alfred North Whitehead. وتقدم هذه المطبوعة من ثلاثة مجلدات منهجًا جديدًا للرياضيات.

**١٩١١:** بعد تملك عدة شركات أخرى تغير شركة آلة الجدولة لهرمان هولبريث اسمها إلى شركة الحوسبة والجدولة والتسجيل CTR.

**١٩١٥:** يشترك توماس ج. واتسون في سان فرانسيسكو وإلكسندر جراهام بل من نيويورك في أول مكالمة هاتف عبر القارات في أمريكا الشمالية.

**١٩٢١:** تم ابتكار مصطلح روبوت في ١٩١٧ بواسطة كاتب المسرح التشيكي كاريل كابيك Karel Capek. في عمله الدرامي الرائج عن الخيال العلمي باسم روبوتات روسام العالمية R.U.R.، يصف الآلات الذكية التي، رغم ابتكارها في الأصل لخدمة البشرية، ينتهي بها الأمر إلى السيطرة على العالم وتدمير كل الجنس البشري.

**١٩٢١:** لودفيج فتجنشتين ينشر «رسالة عن المنطق الفلسفي»، التي تعتبر أحد أكثر الأعمال الفلسفية تأثيرًا والمثيرة للخلاف في القرن العشرين. ويعتبر فتجنشتين أول فلاسفة المنطق الوضعي.

**١٩٢٤:** شركة آلة الجدولة لهرمان هولبريث الأصلية، التي تغير اسمها إلى شركة الحوسبة والجدولة والتسجيل CTR، تغير اسمها من جديد إلى IBM، مع توماس ج. واتسون، المسئول التنفيذي الأكبر الجديد. وسوف تصبح آي.بي.إم. رائدة صناعة الكمبيوتر الحديث وأكبر شركة صناعية في العالم.

**١٩٢٥:** تم تطوير أسس ميكانيكا الكم بواسطة نيلز بور وفرنر هيزنبرج.

**١٩٢٧:** مبدأ عدم اليقين، الذي يقول إن الإلكترونات ليس لها موقع محدد بدقة ولكن بالأحرى سحب احتمالية لمواقع محتملة، يقدمه فرنر هيزنبرج. وبعد ثلاث سنوات سوف يحصل على جائزة نوبل لهذا الاكتشاف في ميكانيكا الكم.

**١٩٢٨:** قدم جون فون نويمان فرضية تصغير الأكبر. وسوف يتم استخدام هذه الفرضية على نطاق واسع في برامج ألعاب المباريات في المستقبل.

**١٩٢٨:** أول تليفزيون إلكتروني بالكامل قدمه ذلك العام فيلو ت. فارنسوورث Philo T. Farnsworth، وتم الحصول على براءة اختراع التليفزيون الملون بواسطة فلاديمير زووركين Vladimir Zworkin.

**١٩٣٠:** في الولايات المتحدة، ٦٠ بالمائة من بيوت العائلات لديها أجهزة راديو، وعدد الملاك الشخصيين لأجهزة الراديو في الوقت الراهن يتجاوز ١٨ مليون.

**١٩٣١:** مبرهنة عدم الاكتمال، التي اعتبرها كثيرون أكثر المبرهنات أهمية في كل الرياضيات، قدمها كورت جودل.

**١٩٣١:** اخترع إرنست أوجاست فريدريش راسكا، وبشكل مستقل رينهولد رويدنبرج Rheinhold Ruedenberg، الميكروسكوب الإلكتروني.

**١٩٣٥:** تم اختراع النموذج الأولي لأول آلة «قلب-رئة.»

**١٩٣٧:** صنع جروت ريبير Grote Reber، من ويتون في إلينوي، أول تليسكوب لاسلكي عالمي، وهو طبق قطره ٩,٤ متر (٣١ قدم).

**١٩٣٧:** يبتكر ألان تورينج آلة تورينج، وهي نموذج نظري لكمبيوتر، في بحثه «عن الأعداد القابلة للحوسبة.» وقامت أفكاره على أعمال برتراند راسل وتشارلز بابدج.

**١٩٣٧:** بشكل مستقل يطور ألونزو شيرش Alonzo Church وألان تورينج فرضية شيرش تورينج. وتقول هذه الفرضية إن كل المسائل التي يمكن للكائن البشري أن يحلها

يمكن اختصارها إلى مجموعة خوارزميات، مما يدعم فكرة أن ذكاء الآلة وذكاء الإنسان متكافئان من الناحية الأساسية.

**١٩٣٨:** تم الحصول على أول براءة اختراع لقلم الحبر الجاف بواسطة لازلو بيرو Lazlo Biro.

**١٩٣٩:** تبدأ رحلات الطيران المنتظمة محددة المواعيد في عبور المحيط الأطلسي.

**١٩٤٠:** أول كمبيوتر إلكتروني ABC (مع أنه غير قابل للبرمجة)، صنعه جون ف. أتاناسوف John V. Atanasoff وكليفورد بيري Clifford Berry.

**١٩٤٠:** أول كمبيوتر جاهز للعمل، والمعروف باسم روبنسون Robinson، ابتكره فريق ألترا Ultra، فريق المجهود الحربي البريطاني الذي عمل فيه عشرة آلات شخص. وباستخدام مُرحِّلات كهروميكانيكية، يحل روبنسون بنجاح شفرة رسائل من اللغز «إنجيما»، أول جيل من آلة التشفير النازي.

**١٩٤١:** أول كمبيوتر رقمي يمكن برمجته بالكامل، وهو ذد ٣ Z-3، طوره كونراد زاس Kornad Zuse، من ألمانيا. ويعتبر أرنولد فاست Arnold Fast، عالم الرياضيات الضرير الذي تم توظيفه لبرمجة زد ٣، أول مبرمج في العالم لكمبيوتر قابل للبرمجة وجاهز للعمل.

**١٩٤٣:** يستكشف فارنر مككالوش Warner MacCulloch وفالتر بيتس Walter Pitts أشكال الشبكات العصبية للذكاء في كتابهما «أساليب الحساب المنطقية للأفكار المتأصلة في النشاط العصبي.»

**١٩٤٣:** استكمالاً لمجهوده الحربي يصنع فريق ألترا البريطاني كولوساس Colossus، الذي يسهم في نصر الحلفاء في الحرب العالمية الثانية بسبب قدرته على حل أي شفرة حتى أكثر الشفرات الألمانية تعقيدًا. ويستخدم صمامات إلكترونية أسرع بمقدار من مائة إلى ألف مرة من المُرحِّلات التي استخدمها روبنسون.

**١٩٤٤:** ينجز هوارد آيكن Howard Aiken مارك ١ Mark1. باستخدام شريط ورق مثقب للبرمجة وصمامات إلكترونية لحساب المسائل، يعتبر أول كمبيوتر قابل للبرمجة يصنعه أمريكي.

**١٩٤٥:** جون فون نويمان، بروفيسور في معهد الدراسات المتقدمة في برنستون، في نيو جيرسي، ينشر أول بحث حديث يصف فيه مفهوم البرنامج المخزون.

**١٩٤٦:** أول كمبيوتر رقمي إلكتروني بالكامل ذي غرض عام (قابل للبرمجة) في العالم، من أجل الجيش، طوره جون برسبير إيكارت John Presper Eckert وجون و. موشلي John W. Mauchley. وباسم إينياك ENIAC كان تقريبًا أسرع ألف مرة من مارك ١.

**١٩٤٦:** ينطلق التليفزيون بشكل أسرع من الراديو في العشرينيات. وفي ١٩٤٦، تصل النسبة المئوية للمنازل الأمريكية التي توجد فيها أجهزة تليفزيون إلى ٠,٠٢، وسوف تقفز إلى ٧٢ بالمائة في ١٩٥٦، ولأكثر من ٩٠ بالمائة في عام ١٩٨٣.

**١٩٤٧:** تم اختراع الترانزستور بواسطة وليم برادفورد شوكلي William Bradford Shockley، ووالتر هاوسر براتين Walter Hauser Brattain، وجون باردين John Bardeen. يعمل هذا الجهاز بالغ الصغر مثل صمام مفرغ لكنه يستطيع تحويل تيارات كهربائية للتشغيل والإيقاف بسرعات عالية إلى حد بعيد. ولقد أدى الترانزستور إلى ثورة في الإلكترونيات بالغة الصغر، وأسهم في تخفيض تكاليف الكمبيوترات وأدى إلى تطوير أجهزة المعالج المركزي الكبيرة والكمبيوترات الصغيرة.

**١٩٤٨:** «علم التحكم والمراقبة والاتصالات» Cybernetics (السيبرنية)، كتاب حول نظرية المعلومات، نشره نوربرت فينر Norbert Wiener. وصاغ أيضًا كلمة Cybernetics التي تعني «علم التحكم والاتصال لدى الحيوان والآلة.»

**١٩٤٩:** إدساك EDSAC، أول كمبيوتر برنامج مخزون في العالم، ابتكره موريس ولكس، وتأثر عمله بإيكارت وموشلي. وتم طرح بيناك BINAC، الذي طورته شركة إيكارت وموشلي الأمريكية الجديدة، بعد وقت قصير.

**١٩٤٩:** يصور جورج أورويل George Orwell عالمًا يصيب بالقشعريرة حيث يتم استخدام الكمبيوترات بواسطة النظم البيروقراطية الضخمة لمراقبة واستعباد الجمهور في كتابه «١٩٨٤.»

**١٩٥٠:** يطور إيكارت وموشلي يونيفاك UNIVAC، أول كمبيوتر يطرح في السوق تجاريًا. ويتم استخدامه لجمع نتائج التعداد الأمريكي، ليسجل أول تعداد يتم التعامل معه بكمبيوتر قابل للبرمجة.

**١٩٥٠:** في بحثه «المعدات الآلية للحوسبة والذكاء»، يقدم ألان تورينج اختبار تورينج، وهو وسيلة لتحديد ما إذا كانت آلة ذكية أم لا.

**١٩٥٠:** يتم أول بث تجاري للتليفزيون الملون في الولايات المتحدة، ويصبح التليفزيون الأبيض والأسود عابر القارات متاحًا خلال العام التالي.

**١٩٥٠:** يكتب كلود إلوود شانون Claude Elwood Shannon «برمجة كمبيوتر للعب الشطرنج» الذي نُشر في «المجلة الفلسفية.»

**١٩٥١:** إيكارت وموشلي يطوران إدفاك EDVAC، وهو أول كمبيوتر يستخدم مفهوم البرنامج المخزون. وجرى هذا العمل في مدرسة مور في جامعة بنسلفانيا.

**١٩٥١:** تستضيف باريس مؤتمر السيبرنية.

**١٩٥٢:** باستخدام يونيفاك في نظام شبكة بث تليفزيون كولومبيا CBS، يتنبأ بشكل ناجح بانتخاب دوايت د. إيزنهاور لمنصب رئيس الولايات المتحدة.

**١٩٥٢:** ظهر راديو الترانزستور في حجم الجيب.

**١٩٥٢:** يصمم ناتانيل روشستر Nathaniel Rochester الكمبيوتر ٧٠١، أول كمبيوتر رقمي إلكتروني بنظام خط الإنتاج لشركة آي. بي. إم. وتم تسويقه من أجل الاستخدام العلمي.

**١٩٥٣:** تم اكتشاف البنية الكيميائية لجزيء الدي إن إيه بواسطة جيمس د. واطسون James D. Watson وفرانسيس هــ. س. كريك Francis H. C. Crick.

**١٩٥٣:** تم نشر «تحقيق فلسفي» للودفيج فتجنشتين، و«في انتظار جودو» مسرحية لصمويل بيكيت. وتم اعتبار كلا العملين بالغي الأهمية بالنسبة للوجودية الحديثة.

**١٩٥٣:** حصل مارفن منسكي وجون مكارثي على أعمال صيفية في مختبرات بل.

**١٩٥٥:** تم تأسيس مختبر وليم شوكلي لأشباه الموصلات، وبذلك بدأ وادي السليكون.

**١٩٥٥:** تضافرت شركة ريمنجتون راند وشركة سبيري جيروسكوب ليصبحا شركة سبيري راند. ولوقت قصير، كانت هذه الشركة تمثل منافسًا مهمًا لشركة آي.بي.إم.

**١٩٥٥:** تطرح آي.بي.إم. أول كمبيوتر ترانزستور لها. ويستخدم ٢٢٠٠ ترانزستور بدلًا من ١٢٠٠ صمام إلكتروني التي تكون مطلوبة بطريقة أخرى للحصول على قوة حوسبة مساوية.

**١٩٥٥:** تطور شركة أمريكية أول تصميم لآلة تشبه الروبوت لاستخدامها في الصناعة.

**١٩٥٥:** IPL-II أول لغة ذكاء اصطناعي، ابتكرها ألين نويل Allen Newell، و ج. س. شاو J. C. Shaw، وهربرت سيمون Herbert Simon.

**١٩٥٥:** يدرك برنامج الفضاء والقوات المسلحة الأمريكية أهمية الحصول على كمبيوترات ذات قوة كافية لإطلاق الصواريخ إلى القمر والقذائف الموجة في الغلاف الجوي ستراتوسفير. ووفرت كلا المؤسستان تمويلات أساسية للأبحاث.

**١٩٥٦:** الباحث المنطقي، الذي يستخدم تقنيات البحث التكراري لحل المسائل الرياضية، تم تطويره بواسطة ألين نويل Allen Newell، و ج. س. شاو J. C. Shaw، وهربرت سيمون Herbert Simon.

**١٩٥٦:** ابتكر جون باكاس John Backas وفريق آي.بي.إم. لغة فورتران FORTRAN، أول لغة علمية لبرمجة الكمبيوتر.

**١٩٥٦:** طوّر ستانسلاف ألام Stanislaw Ulam مانياك ١ MANIAC 1، أول برنامج كمبيوتر يهزم كائن بشري في مباراة شطرنج.

**١٩٥٦:** أول ساعة تطرح تجاريًا تعمل بالبطاريات الكهربائية قدمتها شركة ليب Lip في فرنسا.

**١٩٥٦:** تمت صياغة مصطلح الذكاء الاصطناعي في مؤتمر عن الكمبيوتر في كلية دارموث.

**١٩٧٥:** كينيث هـ. أولسين Kenneth H. Olsen يؤسس شركة المعدات الرقمية.

**١٩٥٧:** برنامج حل المشكلة العامة، الذي يستخدم البحث التكراري لحل المسائل، تم تطويره بواسطة ألين نويل، و ج. س. شاو، وهربرت سيمون.

**١٩٥٧:** نعوم تشومسكي Noam Chomsky يكتب «بنيات علم التراكيب»، حيث يضع في اعتباره بشكل جاد الحوسبة المطلوبة لفهم اللغة العصبية. وهذا أول عمل من الأعمال الكثيرة المهمة التي ستجعله يستحق لقب أب علم اللغويات الحديثة.

**١٩٥٨:** تم ابتكار دائرة متكاملة بواسطة جاك سانت. كلير كيلبي Jack St. Clair Kilby، من آلات تكساس.

**١٩٥٨:** تم تأسيس مختبر الذكاء الاصطناعي في معهد ماساتشوستس للتقنية بواسطة جون مككارثي ومارفين منسكي.

**١٩٥٨:** يتنبأ ألين نويل وهربرت سيمون بأن الكمبيوتر الرقمي سيكون بطل العالم في الشطرنج خلال عشر سنوات.

**١٩٥٨:** ليسب LISP، لغة ذكاء اصطناعي مبكرة، طورها جون مككارثي.

**١٩٥٨:** تم تأسيس وكالة مشروعات أبحاث الدفاع المتطورة، التي سوف تقدم تمويلات مهمة للأبحاث في مجال علم الكمبيوتر لعدة سنوات في المستقبل.

**١٩٥٨:** يقدم سيمور كراي Seymour Cray ١٦٠٤ من شركة كونترول داتا، أول كمبيوتر فائق مكون من الترانزستور بشكل كامل.

**١٩٥٨-١٩٥٩:** يطور جاك كيلبي وروبرت نويس، كل منهما بشكل مستقل، شريحة الكمبْيوتر. وتؤدي شريحة الكمبيوتر إلى تطوير كمبيوترات أقل سعرًا وأصغر حجمًا.

**١٩٥٩:** يُكمل أرثر سامويل Arthur Samuel دراسته حول تعليم الآلة. ويقوم المشروع، وهو برنامج لعبة الداما، بأداء مهامه بنفس جودة بعض أفضل اللاعبين في زمنه.

**١٩٥٩:** التجهيز الإلكتروني للوثيقة يزيد من استهلاك الورق في الولايات المتحدة. في هذا العام تستهلك البلد ٧ ملايين طن من الورق. في ١٩٨٦، سوف يتم استخدام ٢٢ مليون طن. وسوف يستخدم مجال الأعمال وحده ٨٥٠ مليار صفحة في ١٩٨١، و ٢,٥ تريليون صفحة في ١٩٨٦، و٤ تريليون في ١٩٩٠.

**١٩٥٩:** تم تطوير كوبول COBOL، وهي لغة كمبيوتر مصممة للاستخدام في مجال الأعمال، بواسطة جراسماراي هوبر Grace Murray Hopper، الذي كان أيضًا أحد أوائل المبرمجين لمارك ١.

**١٩٥٩:** تقدم زيروكس أو آلة ناسخة بشكل تجاري.

**١٩٦٠:** يطور تيودور هارولد مايمين أول طابعة ليزر. وتستخدم أسطوانة ياقوت.

**١٩٦٠:** وكالة مشروعات أبحاث الدفاع المتطورة، المؤسسة حديثًا، ترفع من قيمة دعمها لأبحاث الكمبيوتر.

**١٩٦٠:** يوجد الآن نحو ستة آلاف كمبيوتر تعمل في الولايات المتحدة.

**الستينيات:** آلات الشبكة العصبية بالغة البساطة وتدمج عددًا صغيرًا من العصبونات منظمة في طبقة واحدة أو طبقتين. ويتضح أن هذه النماذج محدودة في قدراتها.

**١٩٦١:** تم تطوير أول كمبيوتر للمشاركة الزمنية time-sharing في معهد ماساتشوستس للتقنية.

**١٩٦١:** يقدم الرئيس جون كينيدي دعمًا لمشروع الفضاء أبولو وإحياءً للأبحاث المهمة في علم الكمبيوتر عندما يخاطب الاجتماع المشترك للكونجرس، قائلًا، «أعتقد أن علينا أن نذهب إلى القمر.»

**١٩٦٢:** تم تسويق أول روبوت صناعي في العالم بواسطة شركة أمريكية.

**١٩٦٢:** يقوم فرانك روسنبلات Frank Rosenblatt بتعريف الآلة سريعة الفهم perceptron في كتابه «مبادئ الديناميكا العصبية.» قدم روسنبلات هذه الآلة في البداية باعتبارها عنصر معالجة بسيط للشبكات العصبية، في مؤتمر في ١٩٥٩.

**١٩٦٣:** يتم تأسيس مختبر الذكاء الاصطناعي في جامعة ستانفورد بوساطة جون مككارثي.

**١٩٦٣:** يتم نشر «خطوات نحو الذكاء الاصطناعي» ذي التأثير الكبير بواسطة مارفين منسكي.

**١٩٦٣:** تعلن شركة الأجهزة الرقمية عن PDP-8، وهو أول كمبيوتر صغير ناجح.

**١٩٦٤:** تقدم آي.بي.إم. سلسلتها ٣٦٠، وبذلك تقوّى أكثر من ريادتها في صناعة الكمبيوتر.

**١٩٦٤:** توماس إ. كارتز Thomas E. Kurtz وجون ج. كيني John G. Kenny من كلية دارتموث يبتكران لغة الباسيك BASIC (شفرة تعليمات رمزية لكل الأغراض للمبتدئين).

١٩٦٤: دانيل بوبرو Daniel Bobrow يستكمل عمله للدكتوراه الطالب Student، برنامج لغة عصبية يمكنه حل مسائل الكلمات على مستوى المدرسة الثانوية في الجبر.

١٩٦٤: تنبؤ جوردون مور Gordon Moor، الذي تم في هذا العام، يقول بأن الدوائر المتكاملة سوف يتضاعف تعقدها كل عام. وهو ما سيصبح معروفًا باسم قانون مور وثبتت صحته (بتعديلاته اللاحقة) لعدة عقود تالية.

١٩٦٤: مارشال مكلوهان Marshal McLuhan، من خلال كتابه فهم وسائل الإعلام، يتنبأ بقدرة وسائل الإعلام الإلكترونية، خاصة التليفزيون، على ابتكار «قرية عالمية» حيث «يكون الوسيط هو الرسالة.»

١٩٦٥: تم تأسيس معهد علم الروبوتات في جامعة كارنيجي ميلون، والذي سيصبح مركزًا رائدًا في أبحاث الذكاء الاصطناعي، بواسطة راج ريدي Raj Reddy.

١٩٦٥: يضع هوبرت درايفوس Hurbert Dryfus مجموعة مجادلات فلسفية ضد إمكانية الحصول على الذكاء الاصطناعي في مفكرة مشتركة لراند RAND بعنوان «السيمياء والذكاء الاصطناعي.»

١٩٦٥: يتنبأ هربرت سيمون بأنه في ١٩٨٥ «سيكون في استطاعة الآلات القيام بأي عمل يمكن أن يقوم به الإنسان.»

١٩٦٦: تم تأسيس جمعية الكمبيوتر للهاوي، ربما تكون أول نادي للكمبيوتر الشخصي، بواسطة ستيفن ب. جراي Stephen B. Gray. تعتبر «نيوزلتر Newsletter» الصادرة عن هذه الجمعية من أوائل المجلات عن الكمبيوترات.

١٩٦٧: تم تطوير أول جهاز لتنظيم تقلصات عضلة القلب بواسطة ميدترونيكس Medtronics. وهو يستخدم الدوائر المتكاملة.

١٩٦٨: أسس جوردون مور وروبرت نويس شركة إنتل Intel (الإلكترونيات المتكاملة).

**١٩٦٨:** تثير فكرة الكمبيوتر الذي يمكنه أن يرى، ويتكلم، ويسمع ويفكر الخيال عند ظهور هال HAL في فيلم ٢٠٠١: أوديسة الفضاء، بواسطة أرثر س. كلارك Arthur C. Clarke وستانلي كوبريك Stanley Kubrick.

**١٩٦٩:** يقدم مارفين منسكي وسيمور بابيرت حدود الشبكات العصبية ذات الطبقة الواحدة في كتابهما «الآلات سريعة الفهم Perceptrons.» وتوضح الفرضية المحورية للكتاب أن الآلة سريعة الفهم عاجزة عن تحديد ما إذا كان خط مرسوم متصل تمامًا. أوقف الكتاب من الناحية الأساسية تمويل أبحاث الشبكة العصبية.

**١٩٧٠:** إجمالي الإنتاج القومي، على أساس كل نسمة وأسعار الدولار الثابتة في ١٩٥٨، يصل إلى ٣٥٠٠ دولار، أو أكثر ست مرات مما كان عليه منذ قرن مضى.

**١٩٧٠:** تم طرح القرص المرن لتخزين بيانات في الكمبيوترات.

**نحو ١٩٧٠:** طورت الأبحاث في مركز أبحاث زيروكس بالو ألتو PARC أول كمبيوتر شخصي، يطلق عليه ألتو Alto. وكان هذا الكمبيوتر رائدًا في استخدام العرض البياني لتخطيط البت bit-mapped graphics، والنوافذ، والأيقونات، وأجهزة فأرة المؤشر.

**١٩٧٠:** أكمل تيري وينوجراد Terry Winograd رسالته البارزة حول SHRDLU، وهو نظام لغة عصبية يُبرز السلوك الذكي المتنوع في العالم الصغير لمكعبات لعب الأطفال. ومع ذلك تم انتقاد هذا النظام بسبب افتقاره إلى العمومية.

**١٩٧١:** طرحت إنتل أول معالج دقيق إنتل ٤٠٠٤.

**١٩٧١:** تم طرح أول آلة كمبيوترة للجيب. يمكنها أن تجمع وتطرح وتضرب وتقسم.

**١٩٧٢:** مستمرًا في نقده لقدرات الذكاء الاصطناعي، ينشر هوبرت درايفوس «ما الذي يمكن للكمبيوترات أن تفعله»، وفيه يقول بأن المعالجة الرمزية لا يمكنها أن تكون أساسًا للذكاء الإنساني.

**١٩٧٣:** توصل ستانلي هـ. كوهين Stanley H. Cohen وهربرت و. بوير Herbert W. Boyer إلى أن جدائل الدي إن إيه يمكن قطعها، ووصلها، ومن ثم إعادة تركيبها بإدخالها في بكتيريا إشريشيا كولاي Escherichia coli. وضع هذا العمل الأساس للهندسة الجينية.

**١٩٧٤:** بدأ نشر «كريتيف كمبيوتنج Creative Computing.» وهي أول مجلة لهواة كمبيوتر المنزل.

**١٩٧٤:** أعلنت إنتل عن طرح أول معالج دقيق للأغراض العامة 8-bit ٨٠٨٠.

**١٩٧٥:** وصلت مبيعات الكمبيوترات الصغيرة في الولايات المتحدة إلى أكثر من خمسة آلاف، وتم طرح الكمبيوتر الشخصي ألتير ٨٨٠٠ Altair 8800. وكان له ذاكرة من ٢٥٦ بايت.

**١٩٧٥:** تم نشر «بايت BYTE»، وهي أول مجلة كمبيوتر يتم توزيعها على نطاق واسع.

**١٩٧٥:** يعدِّل جوردون مور ملاحظته عن مضاعفة معدل الترانزستورات على الدائرة المتكاملة من اثنى عشر شهر إلى أربعة وعشرين شهرًا.

**١٩٧٦:** تقدم منتجات كمبيوتر كيرزويل آلة القراءة لكيرزويل KRM، أول آلة قراءة من المطبوعة للكلام للعميان. وهي تعتمد على أول تقنية تمييز أي حروف مطبعية بصرية OCR، وتمسح الآلة وتقرأ بصوت مرتفع المواد المطبوعة (كتب، ومجلات، ووثائق مطبوعة).

**١٩٧٦:** يؤسس ستيفين ج. ووزنياك Stephen G. Wozniak وستيفين ب. جوبس شركة أبل Apple للكمبيوترات.

**١٩٧٧:** مفهوم الروبوتات المتمشية مع حقيقة الحياة مع عواطف إنسانية جديرة بالتصديق، يظهر بشكل خيالي في فيلم حرب النجوم.

**١٩٧٧:** الأول مرة تجري شركة هاتف تجارب واسعة النطاق على ألياف ضوئية في نظام الهاتف.

**١٩٧٧:** أبل ٢ Apple II، أول كمبيوتر شخصي يُباع على شكل مجمع وأولها الذي يكون له القدرة على عرض رسومات توضيحية ملونة، تم طرحه وتسويقه بشكل ناجح.

**١٩٧٨:** قدمت شركة تكساس للمعدات جهازًا مساعدًا للتعلم للأطفال الصغار يتكلم ويتهجى باستخدام الكمبيوتر. هذا أول منتج ينسخ بشكل إلكتروني نص صوتي إنساني على شريحة.

**١٩٧٩:** في دراسة بارزة لتسعة باحثين نُشرت في «مجلة الجمعية الطبية الأمريكية»، تمت مقارنة أداء برنامج الكمبيوتر مايسين MYCIN مع أطباء في تشخيص عشر حالات فحص التهاب السحايا. قام مايسين بعمله على الأقل بنفس جودة الخبراء الطبيين. وتصبح قدرة النظم الخبيرة في الطب معروفة على نطاق واسع.

**١٩٧٩:** يرسخ دان بريكلين Dan Bricklin وبوب فرانكستون Bob Frankston الكمبيوتر الشخصي كأداة مهمة في مجال الأعمال عندما يطوران فيسيكالك VisiCalc، أول لوحة جدولية إلكترونية.

**١٩٨٠:** دخل صناعة الذكاء الاصطناعي يصل إلى بضعة ملايين دولار هذا العام.

**الثمانينيات:** بعد أن أصبح من الممكن للنماذج العصبية أن تكون أكثر حذقًا بدأ في العودة النموذج الإرشادي للشبكة العصبية، وينتشر استخدام الشبكات ذات الطبقات المتعددة.

**١٩٨١:** تقدم زيروكس كمبيوتر ستار Star، بذلك تطرح مفهوم النشر المكتبي. وسوف يرفع كاتب ليزر، الذي أنتجته أبل وطُرح في ١٩٨٥، إلى حد بعيد من القابلية لتطبيق هذه الطريقة الرخيصة والفعالة لدى الكتاب والفنانين لإبداع وثائقهم الخاصة المتقنة.

**١٩٨١:** تقدم آي.بي.إم. كمبيوترها الشخصي PC.

**١٩٨١:** تقدم كانون Canon النموذج الأولي لطابعة التدفق الفقاعي.

**١٩٨٢:** يتم تسويق مشغلات القرص المدمج لأول مرة.

**١٩٨٢:** يقدم ميتش كابور Mitch Kapor برنامج Lotus 1-2-3. وهو برنامج لوحة جدولية شائعة إل حد بعيد.

**١٩٨٣:** آلات الفاكس تصبح بسرعة ضرورية في عالم الأعمال.

**١٩٨٣:** تظهر آلة التداخل الرقمي الموسيقية MIDI في لوس أنجلوس في أول عرض للصنَّاع في مجال الموسيقى في أمريكا الشمالية.

**١٩٨٣:** ستة ملايين كمبيوتر شخصي يتم بيعها في الولايات المتحدة.

**١٩٨٤:** تقدم أبل ماكنتوش «رمز مكتبي»، الذي كانت زيروكس رائدة فيه، متضمنًا الرسم البياني بتخطيط بيت، والأيقونات، والفأرة.

**١٩٨٤:** يستخدم وليم جيبسون مصطلح الفضاء المعلوماتي cyperspace في كتابه «المتنبئ العصبي Neuromancer.»

**١٩٨٤:** مازج الصوت ٢٥٠ (K250) لكيرزويل، يعتبر أول آلة إلكترونية تحاكي بنجاح الأصوات المعدَلة للآلات الموسيقية، تم طرحه في السوق.

**١٩٨٥:** ينشر مارفين منسكي «مجتمع العقل»، يقدم فيه نظرية للعقل حيث يعتبر الذكاء نتيجة للتنظيم الصحيح للتسلسل الهرمي للعقول بآليات بسيطة على أدنى مستوى من هذا التسلسل.

**١٩٨٥:** تم تأسيس مختبر الإعلام في معهد ماساتشوستس التقني بواسطة جيروم فيسنر Jerome Weisner ونيكولاس نجروبونت Nicholas Negroponte. والمختبر مكرس للأبحاث حول التطبيقات الممكنة وتفاعلات علم الكمبيوتر، وعلم الاجتماع، والذكاء الاصطناعي في سياق تقنية الإعلام.

**١٩٨٥:** هناك ١١٦ مليون وظيفة في الولايات المتحدة، مقارنة بـ ١٢ مليون في ١٨٧٠. وفي نفس الفترة الزمنية، ازداد عدد هؤلاء الموظفين من ٣١ إلى ٤٨ بالمائة، وإجمالي الإنتاج

القومي لكل نسمة بالدولارات الثابتة ازداد بنسبة ٦٠٠ بالمائة. ولم تشهد هذه الاتجاهات أي انخفاض.

**١٩٨٦:** تحصل لوحات المفاتيح الإلكترونية على ٥٥,٢ بالمائة من السوق الأمريكي للوحات المفاتيح الموسيقية، من ٩,٥ بالمائة في ١٩٨٠.

**١٩٨٦:** متوسط العمر في الولايات المتحدة ٧٤ سنة. ٣ بالمائة فقط من القوة العاملة الأمريكية تشارك في إنتاج الطعام. مجمل ٧٦ بالمائة من البالغين الأمريكيين حصلوا على دبلومات مدرسة ثانوية، ٧,٣ مليون طالب في الولايات المتحدة مسجلون في كليات.

**١٩٨٧:** تحدث أكبر خسارة ليوم واحد للعاملين في بورصة نيويورك بسبب، جزئيًّا، التجارة المعتمدة على الكمبيوتر.

**١٩٨٧:** يمكن لنظم الكلام الحالية أن تتيح أي مما يلي: مفردات لغة كثيرة، أو تمييز الكلام المستمر، أو مكبر صوت مستقل.

**١٩٨٧:** نظم الرؤية الروبوتية الآن صناعة بـ ٣٠٠ مليون دولار وسوف تنمو إلى ٨٠٠ مليون دولار في ١٩٩٠.

**١٩٨٨:** ذاكرة الكمبيوتر الآن لا تتكلف إلا واحدًا من مائة مليون عما كانت تتكلفه عام ١٩٥٠.

**١٩٨٨:** ينشر مارفين منسكي وسيمور بابيرت نسخة معدلة من «آلات سريعة الفهم» يناقشان فيها التطورات الحديثة في المعدات الآلية للشبكة العصبية للذكاء.

**١٩٨٨:** في الولايات المتحدة، تم هذا العام بيع ٤٧٠٠ ألف ميكروكمبيوتر، و١٢٠ ألف كمبيوتر صغير، و١١٥٠٠ أجهزة كبيرة.

**١٩٨٨:** آلة الوصل لـ و. دانيل هيليس W. Daniel Hillis تستطيع إجراء ٦٥٥٣٦ عملية حسابية في نفس الوقت.

**١٩٨٨:** كمبيوترات المفكرة تحل محل الكمبيوترات النقالة في انتشارها.

**١٩٨٩:** تقدم إنتل المعالج الدقيق 83865SX, 2.5 MIPS بـ ١٦ ميجاهرتز.

**١٩٩٠:** يتم إصدار «نوتيلاس Nautilus»، أول مجلة قرص ذاكرة القراءة فقط.

**١٩٩٠:** يتم تطوير لغة HyperText Markup بواسطة الباحث تيم برنرس لي Tim Berners-Lee وصدورها عن سيرن CERN، مختبر الفيزياء عالية الطاقة في جنيف، في سويسرا، يؤدي إلى تصور عن شبكة المعلومات العالمية World Wide Web.

**١٩٩١:** يزداد انتشار الهواتف الخلوية والبريد الإلكتروني كأدوات في مجال الأعمال والاتصال الشخصي.

**١٩٩٢:** أول قرص محرك ذاكرة قراءة فقط CD-ROM ذو سرعة مضاعفة يصبح متاحًا بواسطة NEC.

**١٩٩٢:** أول مساعد رقمي شخصي PDA، كمبيوتر يمسك باليد، يظهر في عرض الإلكترونيات للمستهلك في شيكاغو. والذي قامت بتطويره أبل للكمبيوترات.

**١٩٩٣:** تطرح إنتل المعالج الدقيق Pentium 32-bit. وفي هذه الشريحة ٣,١ مليون ترانزستور.

**١٩٩٤:** تظهر شبكة المعلومات العالمية World Wide Web.

**١٩٩٤:** يتجاوز عدد المشتركين في أمريكا على الخط المباشر ١ مليون شخص.

**١٩٩٤:** يتم استخدام الماسحات وأقراص القراءة فقط على نطاق واسع.

**١٩٩٤:** شركة المعدات الرقمية تطرح نوع ٣٠٠ ميجاهارتز من معالج Alpha AXP الذي ينفذ ١ مليار من التعليمات في الثانية.

**١٩٩٦:** يتم تجهيز نظامي كمبيوتر كومباك Compaq وكمبيوتر NEC لكمبيوترات توضع في الكف وتعمل بنوافذ Windows CE.

**١٩٩٦:** تجهز شركة NEC للإلكترونيات المعالج R4101 للمساعد الشخصي الرقمي. ويحتوي على شاشة لمس بينية.

**١٩٩٧:** ديب بلو يهزم جاري كاسباروف، بطل العالم في الشطرنج، في سلسلة مباريات منتظمة.

**١٩٩٧:** نظم دراجون Dragon Systems تقدم برمجيات الكلام الطبيعي، أول منتج لبرمجيات إملاء الكلام المستمر.

**١٩٩٧:** تم استخدام هواتف فيديو في أماكن العمل.

**١٩٩٧:** نظم تمييز الوجه يبدأ استخدامها في آلات مراجعة نقود كشف المرتبات.

**١٩٩٨:** قسم الإملاء في منتجات الكلام لدى ليرنو وهاوسبي Lernout & Hauspie (الذكاء التطبيقي لكيرزويل سابقًا)، يقدم فويس إكسبريس بلاس Voice Xpress Plus، أو برنامج تمييز الكلام المستمر بقدرته على فهم أوامر اللغة الطبيعية.

**١٩٩٨:** يبدأ إجراء المعاملات التجارية العادية في مجال الأعمال عبر الهاتف بين عميل بشري ونظام آلي يشترك في حوار شفهي مع العميل (مثل، حجوزات يونايتد إيرلاينس United Airlines).

**١٩٨٨:** تظهر تمويلات الاستثمار التي تستخدم الخوارزميات التطورية والشبكات العصبية لاتخاذ قرارات استثمار (مثل، تقنيات الاستثمار المتطورة).

**١٩٩٨:** شبكة المعلومات العالمية موجودة في كل مكان وفي أي وقت. وأمر عادي أن يكون لدى طلاب المدرسة الثانوية أو محلات البقالة المحلية مواقع على الشبكة العالمية للمعلومات.

**١٩٩٨:** الشخصيات الآلية، التي تظهر بأوجه الصور المتحركة وتتكلم بحركات فم واقعية وتعبيرات على الوجه، تعمل في المختبرات. وتستجيب هذه الشخصيات للعبارات المنطوقة والتعبيرات الوجهية من مستخدميها البشر. وتم تطويرها ليتم استخدامها في تداخلات المستخدمين في المستقبل لطلب المنتجات والخدمات، مثل البحث المجسد والمساعدين في مجال الأعمال، ولإجراء التعاملات التجارية.

**١٩٩٨:** تنعكس صور عرض الشبكية الافتراضية لشركة مايكروفيزيون، مباشرة على شبكية المستخدم. ورغم أنها عالية السعر، فإن الأنواع المعدة للمستهلك مخطط لها أن تتوافر في ١٩٩٩.

**١٩٩٨:** تقنية بلوتوث Bluetooth تم تطويرها لـ «هيئة» شبكات مناطق محلية LANs، وللاتصال اللاسلكي بين الكمبيوترات الشخصية وملحقاتها المصاحبة. وتم تطوير الاتصال اللاسلكي للوصلات لنطاق التردد العالي لشبكة المعلومات العالمية.

**١٩٩٩:** تم نشر كتاب راي كيرزويل «عصر الآلات الروحية: عندما تتخطى الآلات الذكاء الإنساني»، وهو متوافر في محل بيع الكتب المحلي في منطقتك!

**٢٠٠٩:** يمكن لكمبيوتر شخصي بـ ١٠٠٠ دولار أن ينجز نحو تريليون عملية حسابية في الثانية.تتوافر الكمبيوترات الشخصية بعروض بصرية عالية الوضوح في أحجام مختلفة. ومنها أحجام صغيرة بما يكفي لكي يتم دمجها في الملابس والمجوهرات حتى حجم الكتاب الرقيق. تختفي الكابلات، والاتصال بين المكونات يتم باستخدام تقنية لاسلكية للمسافة القصيرة. والاتصال اللاسلكي مرتفع السرعة يتيح منفذًا إلى شبكة المعلومات العالمية.
أغلبية النص يتم إنتاجه باستخدام تمييز الكلام. والمتوافر أيضًا في كل مكان وكل وقت هو وسائط لغة المستخدم LUIs. أغلب التعاملات التجارية العادية في مجال الأعمال (الشراء، والسفر، والحجز) يتم إجراؤها بين بشر وشخصية افتراضية. وتتضمن الشخصية الافتراضية، غالبًا، هيئة مرئية بالصور المتحركة تبدو مثل الوجه الإنساني.
رغم أن تنظيم الغرفة الدراسية التقليدية لا يزال شائعًا، ظهر طقم المناهج التعليمية courseware الذكي كوسيلة شائعة للتعليم.
كانت نتيجة آلات القراءة بحجم الجيب للعميان والمعاقين بصريًا، و«آلات الاستماع» (خاصة النوع من الكلام إلى النص) للصم، وأجهزة تقويم الاعوجاج التي يتحكم فيها

الكمبيوتر للأفراد المشلولين بالأطراف السفلية، إدراكًا متناميًا بأن الإعاقات الأساسية لا تسبغ عاهات على المصابين بها.
يتم استخدام هواتف الترجمة (ترجمة لغة الكلام إلى الكلام) بشكل شائع بالنسبة لأزواج كثيرة من اللغات.
العائدات المتسارعة من تقدم تقنية الكمبيوتر نتج عنه توسع اقتصادي مستمر. وانكماش الأسعار، الذي كان حقيقة في مجال الكمبيوتر خلال القرن العشرين، يحدث الآن خارج مجال الكمبيوتر. وسبب ذلك أن القطاعات الاقتصادية بحكم الواقع تأثرت بشدة بالتحسين المتسارع في سعر أداء الحوسبة. يشترك الموسيقيون البشر عادة مع الموسيقيين السبرانيين في حفلات العزف.
قلصت علاجات الهندسة الجينية للسرطان وأمراض القلب إلى حد بعيد من الوفيات بسبب هذه الأمراض. تنمو حركة محطمي الآلات الجديدة.

**٢٠١٩:** جهاز حوسبة بـ ١٠٠٠ دولار (بقيمة دولارات ١٩٩٩) يساوي الآن تقريبًا قدرة حوسبة مخ بشري.
الكمبيوترات الآن غير مرئية إلى حد بعيد ومدمجة في كل مكان—في الحوائط، والموائد، والمقاعد، والأدراج، والملابس، والمجوهرات، والأجسام.
أغلب التفاعل مع الحوسبة يتم من خلال إيماءات والاتصال بالحديث في اتجاهين للغة طبيعية.
آلات الهندسة النانوية يبدأ تطبيقها على الصناعة وتطبيقات التحكم في العمليات. بيئات الواقع الافتراضي بالغ الوضوح في الأبعاد الثلاثة، والبيئات الواقعية اللمسية الشاملة تمامًا، يسمحان للناس بالقيام بأي عمل تقريبًا مع أي شخص، بصرف النظر عن الابتعاد المادي.
من النادر استخدام الكتب والوثائق الورقية وأغلب التعليم يتم من خلال مدرسين أذكياء موجودين من خلال المحاكاة المعتمدة على البرمجيات.
يستخدم العميان عادة نظم توجيه القراءة المعلقة بالنظارات. ويقرأ الصم ما يقوله الأشخاص الآخرين من خلال عروض عدساتهم. ويسير المصابون بشلل الطرفين السفليين وبعض الأشخاص المصابين بشلل الأطراف الأربعة، ويصعدون السلالم من خلال جمع بين تحفيز عصب بالتحكم بالكمبيوتر وأجهزة روبوتية خاصة بالهيكل الخارجي.
الغالبية الساحقة من التعاملات التجارية تتضمن أشخاصًا موجودين بالمحاكاة.
نظم القيادة الآلية يتم تركيبها الآن في أغلب الطرق.

يبدأ الناس في تكوين علاقات مع شخصيات آلية ويستخدمونهم كرفاق، ومدرسين، ومشرفين، وأحباء.
الفنانون الافتراضيون، مع شهرتهم يظهرون في كل الفنون.
هناك تقارير واسعة الانتشار حول كمبيوترات تنجح في اختبار تورينج، رغم أن هذه الاختبارات لا تتفق مع المعيار الذي أسسه مراقبون لديهم حسن اطلاع.

**٢٠٢٩:** وحدة حوسبة بـ ١٠٠٠ دولار (بقيمة دولارات ١٩٩٩) لديها قدرة حوسبة نحو ١٠٠٠ مخ بشري.
الزراعات الثابتة أو المتحركة (مثل العدسات اللاصقة) للعيون وأيضًا زراعات قوقعة الأذن يتم استخدامها حاليًا لإتاحة مدخلات ومخرجات بين المستخدم البشري وشبكة الحوسبة على النطاق العالمي.
تم إنجاز مسارات عصبية مباشرة لاتصال ذي نطاق تردد عالي مع المخ البشري.
وأصبحت مجموعة من الزراعات العصبية متاحة لتعزيز الإدراك السمعي والتفسير، والذاكرة، والتفكير المنطقي.
المندوبون الآليون يتعلمون الآن بأنفسهم، وتم ابتكار معارف مهمة بالآلات مع القليل من التدخل البشري أو بدونه. وقرأت الكمبيوترات كل ما هو متاح من الأدب ومواد الوسائط المتعددة البشري وما ولَّدته الآلات.
هناك استخدام على نطاق واسع للاتصال المرئي والسمعي واللمسي الشامل تمامًا باستخدام وصلات عصبية مباشرة، مما يسمح بوجود واقع افتراضي بدون الحاجة إلى أن يحدث في «سياج لمس شامل.»
لا تتضمن أغلب الاتصالات إنسانًا. وأغلب الاتصالات التي تتضمن إنسانًا تكون بين إنسان وآلة.
هناك حوار متنامٍ حول الحقوق القانونية للكمبيوترات وما يحدد كينونة «الإنسان.»

**٢٠٢٩:** رغم نجاح الكمبيوترات عادة في أنواع اختبار تورينج التي يبدو أنها شرعية، يستمر الخلاف حول ما إذا كان ذكاء الآلة يساوي الذكاء الإنساني بكل تنوعاته أم لا.
تزعم الآلات أن لديها وعي. ويتم قبول هذه المزاعم إلى حد بعيد.

**٢٠٤٩:** الاستخدام الشائع للطعام المنتج بالتكنولوجيا النانوية، والذي له تركيب غذائي سليم ونفس الطعم والملمس للأطعمة المنتجة بشكل عضوي، يعني أن توافر الطعام لم يعد يتأثر بالمصادر المحدودة، أو الطقس السيئ بالنسبة للمحصول، أو التلف.
عروض سحب النانوبوت يتم استخدامها لابتكار عروض بصرية سمعية لمسية عن الناس والأشياء في الواقع الحقيقي.

**٢٠٧٢:** هندسة البيكو (تطوير تقنية على مستوى البيكومتر أو جزء من تريليون من المتر) تصبح عملية.[١]

**مع عام ٢٠٩٩:** هناك نزعة قوية نحو دمج التفكير البشري مع عالم ذكاء الآلة الذي ابتكره الإنسان في البداية.
لم يعد هناك أي تمييز واضح بين البشر والكمبيوترات. أغلب الكيانات الواعية ليس لها وجود مادي دائم.
كيانات الذكاء المعتمدة على الآلة والناتجة عن نماذج موسعة للذكاء الإنسان تزعم أنها إنسانية، رغم أن أمخاخنا لا تقوم على العمليات الخلوية المعتمدة على الكربون، ولكن بالأحرى على ما يناظرها من العمليات الإلكترونية والفوتونية.
وأغلب هذه الكيانات الذكية لا ترتبط بوحدة معالجة حوسبة محددة. وإلى حد بعيد يتجاوز عدد البشر المعتمدين على البرمجيات هؤلاء الذين لا يزالون يستخدمون الحوسبة الطبيعية المعتمدة على خلية العصبون.
حتى بين هذه الكيانات البشرية الذكية التي لا تزال تستخدم العصبونات المعتمدة على الكربون، هناك استخدام في كل مكان وكل وقت لتقنية الزراعة العصبية، التي تتيح زيادة ضخمة لقدرات الإدراك والفهم البشرية.
والبشر الذين لا يستخدمون مثل هذه الزراعات عاجزون عن المشاركة المهمة في الحوار مع هؤلاء الذين يستخدمونها. هدف التعليم، والكائنات الذكية، هو اكتشاف معارف جديدة لتعلمها. خطط هندسة الفيمتو (هندسة على مستوى الفمتومتر أو جزء من ألف من تريليون من المتر) تثير الجدل[٢]
متوسط العمر لم يعد مصطلح قابل للتطبيق بالنسبة للكائنات الذكية.

**بعد ألفيات متعددة منذ ذلك الحين ...** الكائنات الذكية تشكل رأيًا حول مصير الكون.



# كيفية صنع آلة ذكية
# بثلاثة نماذج سهلة

كلما أصبح ديب بلو أكثر فأكثر عمقًا أظهر عناصر فهم استراتيجية. وفي مكان ما لديه، تُتَرجَم التكتيكات القليلة إلى استراتيجية. هذا أقرب شيء إلى ذكاء الكمبيوتر رأيته. إنه شكل غريب من الذكاء، بداية ذكاء. لكن يمكنك الشعور به. يمكنك شمه.

فريدريك فريدل Frederick Friedel، مساعد جاري
كاسباروف يعلق على الكمبيوتر الذي هزم رئيسه.

كل فكرة هذه الجملة أنها توضح ماهية كل فكرة هذه الجملة.

دوجلاس هوفستاتر Douglas Hofstadter

هل تنبئني من فضلك أي طريق عليّ أن أسلكه من هنا؟ سألت آليس
هذا يعتمد بدرجة كبيرة على الجهة التي ترغبين في الذهاب إليها.
قالت القطة.
لا أهتم كثيرًا بأين ... قالت آليس.
إذن لا يهم كثيرًا أي طريق ستسيرين فيه، قالت القطة.
... بشرط أن أصل إلى مكان ما، أضافت آليس للتوضيح.
أووه، من المؤكد أنك ستفعلين ذلك، قالت القطة، إذا مشيت مسافة
طويلة بما فيه الكفاية.

لويس كارول Lewis Carroll

كان بروفيسور قد انتهى منذ لحظة من إلقاء محاضرة في جامعة مهيبة حول أصل وبنية الكون، وصعدت امرأة تلبس حذاء تنس إلى منضدة القراءة: «عذرًا سيدي، لقد أخطأت في الأمر كله»، هذا ما قالته. «الحقيقة أن الكون يجلس على ظهر سلحفاة ضخمة.». يقرر البروفيسور أن يداعبها: «أو وهل هذا حقيقي؟» يسأل. «حسنًا، أخبريني، على ماذا تجلس السلحفاة؟» كان لدى السيدة إجابة جاهزة: «أوه، إنها تجلس على سلحفاة أخرى.» يسأل البروفيسور: «وعلى ماذا تجلس تلك السلحفاة؟» وبدون تردد تقول: «سلحفاة أخرى.» ويظل البروفيسور في المباراة، وهو يكرر سؤاله. وتظهر علامة الضجر على وجه المرأة. ترفع يدها، وتوقفه في منتصف جملة: «وفر على نفسك عناء الكلام، يا بني»، هذا ما قالته ... «إنها سلحفاة دائمًا كلما هبطت.»

رولف لانداوير Rolf Landauer

كما ذكرت في فصل، «بناء أمخاخ جديدة»، فإن فهم الذكاء يشبه بعض الشيء تقشير بصلة ــ اختراق طبقة يكشف أنه لا تزال هناك بصلة أخرى. وفي نهاية العملية، يكون لدينا الكثير من قشر البصلة، ولكن دون بصلة. بعبارة أخرى، يعمل الذكاء ــ خاصة الذكاء البشري ــ على عدة مستويات. يمكننا اختراق وفهم كل مستوى، لكن العملية كلها تتطلب أن تعمل كل المستويات معًا بالطريقة الصحيحة لا غير.

وأقدم هنا بعض المزيد من وجهات النظر حول النماذج الإرشادية التي ناقشتها في الفصل ٤، «نوع جديد من الذكاء على الأرض.» يمكن لكل من هذه الطرق أن تقدم حلولًا «ذكية» للمسائل المحددة بعناية. لكن لابتكار نظم يمكنها الاستجابة بمرونة للبيئات المعقدة التي تجد الكيانات الذكية نفسها فيها غالبًا، تحتاج هذه المقاربات إلى الجمع بينها بطرق مناسبة. وهذا حقيقي بشكل خاص عند التفاعل مع ظواهر تجسد مستويات متعددة للفهم. على سبيل المثال، إذا أنشأنا شبكة عصبية ضخمة واحدة وحاولنا تدريبها على فهم كل تعقد الكلام واللغة، ستكون النتائج محدودة في أحسن الأحوال. ويمكن الحصول على نتائج مشجعة أكثر إذا حللنا المسألة بطريقة تناظر المستويات المتعددة للمعنى الذي نجده في هذا الشكل الإنساني الفريد للاتصال.

المخ البشري منظم بنفس الطريقة: باعتباره تجميع متشابك لمناطق متخصصة. وإذا عرفنا الخوارزميات المتوازية للمخ، ستكون لدينا الوسيلة للتوسع فيها إلى حد بعيد.

ومجرد مثال واحد، منطقة المخ المسئولة عن التفكير المنطقي والتكراري — القشرة الدماغية — فيها فقط ٨ مليون عصبون.[١] ونحن نبتكر بالفعل شبكات عصبية أكبر آلاف المرات وتعمل بشكل أسرع ملايين المرات. القضية المهمة في تصميم الآلات الذكية (حتى تنوب عنا في تولي أمر هذه المهمة الشاقة) ستكون تصميم تشكيلات ذكية لتضم الطرق البسيطة نسبيًّا التي تشكل لبنات بناء الذكاء.

## الصيغة التكرارية

هنا صيغة بسيطة حقًّا لابتكار حلول ذكية للمسائل الصعبة. انتبه جيدًا حتى لا يفوت عليك الأمر.
الصيغة التكرارية هي:

لخطوتي التالية، اتخذ أفضل خطوة تالية. إذا فعلت ذلك، فقد قمت بالعمل.

قد تبدو بالغة البساطة، وسوف أعترف بأنه لا يوجد فيها الكثير من المعنى للوهلة الأولى. لكن قوتها مثيرة للدهشة.

دعنا ننظر في المثال الكلاسيكي في المسألة التي تعاملت معها الصيغة التكرارية: مباراة شطرنج. يعتبر الشطرنج مباراة ذكية، على الأقل كان ذلك حتى وقت قريب. ولا يزال أغلب المراقبين يرون أن لعب مباراة جيدة يتطلب ذكاءً. إذن كيف ستتدبر صيغتنا التكرارية أمر هذا المضمار؟

الشطرنج هو مباراة يتم لعبها بإجراء نقلة في كل مرة. والهدف هو القيام بتحركات «جيدة.» لذلك دعنا نحدد برنامجًا يقوم بتحركات جيدة. بتطبيق الصيغة التكرارية على الشطرنج، نعيد الصياغة كما يأتي:

انتقي أفضل حركة لي: انتقي أفضل حركة لي. إذا فزت، فقد قمت بالعمل.

فلنقف هنا، سيكون لذلك معنى بعد قليل. أريد أن أحسب جانبًا آخر في الشطرنج، وهو أنني لست وحدي في هذه المباراة. لديَّ غريمة. وهي تؤدي تحركات أيضًا. دعنا

نجعلها تستفيد من الشك ونفترض أنها ستنجز أيضًا تحركات جيدة. وإذا ثبت أن هذا خطأ، ستكون تلك فرصة لنا لكي نتقدم، وليست مشكلة. لذلك يكون لدينا الآن:

انتقي أفضل حركة لي: انتقي أفضل حركة لي، مع افتراض أن غريمتي ستفعل ذلك أيضًا. إذا انتصرت، فقد قمت بالعمل.

عند هذه النقطة نحتاج إلى التفكير مليًّا في طبيعة التكرار. القاعدة التكرارية هي القاعدة التي يتم تعريفها على أساسها هي نفسها. القاعدة التكرارية دائرية، ولكن لكي تكون مفيدة لا نريد أن ندور في دوائر إلى الأبد. نحتاج إلى كوة إفلات.

ولتوضيح التكرار، دعنا نفكر في مثال: الدالة «العاملية» (أو المضروب) factorial. لحساب مضروب العدد ن، نضرب ن في مضروب العدد (ن ــ ١). هذا هو الجزء الدائري، لقد عرَّفنا هذه الدالة على أساسها هي نفسها. نحتاج أيضًا إلى أن نذكر على وجه التحديد أن مضروب العدد ١ = ١. هذا هي كوة إفلاتنا.

على سبيل المثال، دعنا نحسب مضروب العدد ٢. تبعًا لتعريفنا،

مضروب العدد ٢ = مرتين (مضروب العدد ١).

نعرف مباشرة ما هو (مضروب العدد ١)، لذلك هنا يتوافر لدينا إفلات من التكرار اللانهائي. بإدخال (مضروب العدد ١) = ١، يمكننا عندئذ أن نكتب،

مضروب العدد ٢ = مرتين ١ = ٢

بالعودة إلى الشطرنج، يمكننا أن نرى أن دالة انتقي أفضل حركة لي تكرارية، حيث إننا حددنا أفضل حركة على أساسها هي نفسها. الجزء الذي يعطي وهم أنه تافه «إذا فزت، فقد قمت بالعمل» من الاستراتيجية هو كوة إفلاتنا.

دعنا نحدد عوامل ما نعرفه عن الشطرنج. وهنا نأخذ في تقديرنا بعناية تعريف المسألة. نعرف أنه لكي يتم اختيار أفضل حركة، نحتاج لأن نبدأ بتصنيف الحركات الممكنة. وليس هذا بالأمر شديد التعقيد. الحركات المشروعة في أي لحظة من المباراة محددة بالقواعد. وبينما تُعتبر أكثر تعقدًا من بعض المباريات الأخرى، فإن قواعد الشطرنج مباشرة ويمكن برمجتها بسهولة. لذلك نصنف الحركات ونختار أفضل حركة.

لكن ما أفضل حركة؟ إذا كانت نتيجة الحركة الفوز، سيكون ذلك جميلًا. لذلك فمن جديد نستشير القواعد فقط ونختار أحد الحركات التي ينتج عنها حركة إماتة الشاه على الفور. ربما لا نكون محظوظين إلى هذه الدرجة ولا يكون هناك أي من الحركات الممكنة تسمح بالفوز على الفور. لا زلنا نحتاج إلى التفكير في ما إذا كانت الحركة أو لم تكن تسمح لنا بالفوز أو الهزيمة. عند هذه النقطة نحتاج لأن نضع في اعتبارنا الإضافة المبهمة التي وضعناها على قواعدنا، «بافتراض أن غريمتي ستفعل نفس الشيء.» وفي نهاية الأمر، فإن فوزي أو هزيمتي يتأثران بما قد تفعله غريمتي. أحتاج لأن أضع نفسي في موقفها وأختار أفضل حركة لها. كيف يمكنني أن أفعل ذلك؟ هنا تكمن قوة التكرار. لدينا برنامج يفعل هذا بالضبط، ويطلق عليه انتقي أفضل حركة لي. لذلك نستدعيه ليحدد أفضل حركة لغريمتي.

الآن برنامجنا يتم تنظيمه كما يلي. يتولد عن انتقي أفضل حركة لي قائمة من كل الحركات الممكنة والمسموح بها في القواعد. فيقوم بفحص كل حركة ممكنة بالدور. ولكل حركة، يقوم بتوليد لوحة افتراضية تمثل ما سوف تكون عليه القطع إذا تم اختيار هذه الحركة. ومرة أخرى، يتطلب ذلك فقط تطبيق تعريف المسألة كما تتجسد في قواعد الشطرنج. والآن يضع «انتقي أفضل حركة لي» نفسه في موضع غريمتي ويطلب من نفسه تحديد أفضل حركة لها. عندئذ يبدأ في توليد كل الحركات الممكنة لها من وضع هذه اللوحة.

لذلك يظل البرنامج يستعين بنفسه، ويستمر في التوسع في الحركات الممكنة والحركات المضادة في شجرة احتمالات تتوسع باستمرار. ويتم تسمية هذه العملية غالبًا بأنها بحث «تصغير الأكبر» minimax، لأننا نحاول بدلًا من ذلك التقليل إلى الحد الأدنى من قدرة الغريمة على الفوز ورفع قدرتي إلى الحد الأقصى.

إلى أين يصل كل هذا؟ يظل البرنامج يستدعي نفسه فقط حتى ينتج عن كل فرع في شجرة احتمالات الحركات والحركات المضادة نهاية للمباراة. وكل نهاية للمباراة تقدم الإجابة: فائز، أو متعادل أو منسحب. عند أبعد نقطة من توسع الحركات والحركات المضادة، يواجه البرنامج الحركات التي تنهي المباراة. إذا نتج عن حركة ما فوز، ننتقي الحركة. وإذا لم تكن هناك حركات فوز، فإننا نقبل التعادل. وإذا لم تكن هناك حركات فوز أو تعادل، استمر في اللعب بأية طريقة على أمل أن تكون غريمتي غير بارعة مثلي.

هذه الحركات النهائية هي الأفرع النهائية ــ يطلق عليها أوراق ــ في شجرتنا لتسلسلات الحركة. والآن، بدلًا من الاستمرار نستدعي أنتقي أفضل حركة لي، ويبدأ

البرنامج في العودة من استدعاءاته إلى نفسه. وعندما يبدأ في العودة من كل شبكات استدعاءاته انتقي أفضل حركة، يكون قد حدد أفضل حركة عند كل نقطة (بما في ذلك أفضل حركة لغريمتي)، لذلك يمكنه في النهاية اختيار الحركة الصحيحة للموقف على اللوحة الراهنة الفعلية.

إذن ما هي المباراة التي يلعبها هذا البرنامج البسيط؟ الإجابة هي الشطرنج الكامل. لا يمكنني أن أُهزم، إلا إذا كان من المحتمل أن تتقدم عليَّ غريمتي وتكون ماهرة أيضًا. الشطرنج الكامل هو أمر جيد جدًّا حقًا، أفضل بكثير من مجرد أي إنسان. وأكثر الأجزاء تعقيدًا في دالة انتقي أفضل حركة لي — وهو الجانب الوحيد الذي ليس بالغ البساطة — هو توليد الحركات المسموح بها في كل لحظة. وهذا مجرد أمر يختص بتصنيف القواعد. ومن الناحية الأساسية، لقد حددنا الإجابة بتعريف المسألة بعناية.

لكننا لم ننجز العمل. فبينما قد يتم اعتبار الشطرنج الكامل مثيرًا للإعجاب، فإنه ليس جيدًا بما فيه الكفاية. نحتاج إلى التفكير في مدى استجابة انتقي أفضل حركة لي. إذا افترضنا أنه سيكون هناك، في المتوسط، ٨ حركات ممكنة لكل موقف على اللوحة، وتستغرق أية مباراة نموذجية ٣٠ حركة، علينا أن نضع في اعتبارنا ٣٠٨ تتالي حركة ممكنة للتوسع الكامل في شجرة كل احتمالات «الحركة — الحركة المضادة.» إذا افترضنا أنه يمكننا تحليل ١ مليار وضع لوحة لكل ثانية (وهي كمية كبيرة أسرع من أي كمبيوتر شطرنج في الوقت الراهن)، سوف يتطلب الأمر ١٨١٠ ثانية، أو نحو ٤٠ مليار سنة، لاختيار كل حركة.

لسوء الحظ ليست هذه لعبة مضبوطة. هذه المقاربة إلى التكرار تشبه بعض الشيء التطور — كلاهما يؤدي عملًا عظيمًا لكنه بطيء إلى حد لا يُصدَّق. وهذا لا يثير الدهشة حقًا إذا فكرت فيه. يمثل التطور نموذجًا إرشاديًا آخر بالغ البساطة، وهو حقًا مثال آخر لصيغنا البسيطة.

ومع ذلك، قبل أن نترك الصيغة التكرارية، دعنا نحاول تصنيفها لكي نضع في اعتبارنا صبرنا الإنساني، وفناءنا، في الوقت الحاضر.

من الواضح أننا في حاجة لأن نضع حدودًا لمدى العمق الذي نسمح من خلاله للتكرار أن يحدث. يقتضي مدى الاتساع الذي نسمح من خلاله لشجرة الحركة والحركة المضادة أن تنمو الاعتماد على مدى ما لدينا من حوسبة. وبهذه الطريقة، يمكننا استخدام الصيغة التكرارية في أي كمبيوتر، من كمبيوتر ساعة يد إلى كمبيوتر فائق.

ويعني الحد من حجم هذه الشجرة بالطبع أننا لا يمكننا تمديد كل فرع حتى نهاية المباراة. نحتاج أن نوقف التوسع بشكل متعسف وتكون لدينا طريقة لتقييم «الأوراق الطرفية» لشجرة لا تنتهي. عندما راعينا التوسع الكامل لكل تتالي حركة إلى نهاية المباراة، كان التقييم بسيطًا: الفوز أفضل من التعادل، والهزيمة ليست جيدة مهما كان. ويعتبر تقييم وضع لوحة في وسط المباراة أكثر صعوبة بعض الشيء. والأحرى أنه أكثر إثارة للجدل لأننا نواجه هنا مدارس تفكير متعددة.

القطة في «أليس في بلاد العجائب» التي تقول لأليس أنه لا يهم كثيرًا أي طريق تختار لا بد أنها كانت خبيرة في الخوارزميات التكرارية. وأي مقاربة جزيئية معقولة تعمل بالأحرى بشكل أفضل. لو أننا، على سبيل المثال، أضفنا فقط قيم القطع (أي ١٠ للملكة (الوزير)، ٥ للرخ (الطابية)... إلخ)، سوف نحصل بالأحرى على نتائج لائقة. وستكون نتيجة برمجة صيغة تصغير الكبير التكرارية باستخدام طريقة قيمة القطعة لتقييم الأوراق الطرفية، كما كان يحدث في كمبيوترك الشخصي العادي في نحو ١٩٩٨، هزيمة الجميع باستثناء بضعة آلاف من البشر على الكوكب.

وهذا ما أسميه المدرسة «الساذجة» تقول مدرسة التفكير هذه: استخدم طريقة بسيطة لتقييم الأوراق الطرفية وضع أي قوة حوسبة متوافرة لدينا في توسيع الحركات والحركات المضادة إلى أعمق ما يمكن بقدر الإمكان. ومقاربة أخرى هي مدرسة «العقلية المعقدة»، التي تقول بأننا نحتاج إلى استخدام إجراءات معقدة لتقييم «درجة جودة» اللوحة في كل وضع ورقة طرفية.

ويستخدم ديب بلو لشركة آي.بي.إم.، الذي تخطى هذه العقبة التاريخية، طريقة تقييم أوراق أكثر حذقًا إلى حد بعيد من مجرد إضافة قيم قطع. ومع ذلك، في حوار دار بيني وبين موري كامبل Murry Cambell، مدير فريق ديب بلو، قبل أسابيع فقط من نصره التاريخي في ١٩٩٧، وافق كامبل على أن طريقة تقييم ديب بلو كانت أكثر سذاجة من العقلية المعقدة.

## «شبه شفرة» بدون رياضيات للخوارزم التكراري

في ما يلي المخطط الأساسي للخوارزم التكراري. أي طرق أخرى مختلفة ممكنة، ويحتاج مصمم النظام إلى تقديم بارامترات (مقادير متغيرة القيمة) ومناهج محددة مهمة، موجودة بالتفصيل في ما يلي.

### الخوارزم التكراري

عرِّف دالة (برنامج) انتقى أفضل خطوة تالية. تعطي الدالة قيمة «نجاح» (لقد قمنا بحل المسألة) أو «إخفاق» (لم نحلها). إذا أجابت بقيمة نجاح، فإن الدالة تقدم أيضًا تسلسل الخطوات المختارة التي قامت بحل المسألة. انتقي أفضل خطوة تالية يفعل ما يلي:

**انتقي أفضل خطوة تالية:**

- حدد ما إذا كان يمكن للبرنامج أن يفلت من تكرار مستمر عند هذه النقطة. تتعامل هذه الخرطوشة والخرطوشتان التاليتان مع قرار الإفلات هذا.

**أولًا**، حدد ما إذا كانت المسألة قد تم حلها الآن. حيث إن هذا التوجيه لـ انتقي أفضل خطوة تالية قد يكون قد أتي من برنامج يوجه نفسه، وقد يكون لدينا الآن حل مقبول. الأمثلة هي:

(١) في سياق مباراة (مثلًا شطرنج)، تسمح لنا الحركة الأخيرة بالفوز (مثلًا إماتة الملك).
(٢) في سياق حل فرضية رياضية، تبرهن الخطوة الأخيرة على صحة الفرضية.
(٣) في سياق برنامج فني (مثلًا شاعر سبراني أو مؤلف موسيقي)، تناسب الخطوة الأخيرة أهداف الكلمة التالية أو النغمة الموسيقية.

إذا كان قد تم حل المسألة بشكل مقبول، يقدم البرنامج قيمة ناجح. في هذه الحالة، فإن انتقي أفضل خطوة تالية يقدم أيضًا تسلسل الخطوات التي أدت إلى النجاح.

- إذا لم يكن قد تم حل المسألة، حدد ما إذا كان الحل متعذر الآن. الأمثلة هي:

(١) في سياق مباراة (مثلًا شطرنج)، تسبب لنا هذه الحركة الهزيمة (مثلا ليس متاح لنا إماتة ملك الجانب الآخر).
(٢) في سياق حل فرضية رياضية، تخرق هذه الخطوة الفرضية.
(٣) في سياق برنامج فني (مثلًا شاعر سبراني أو مؤلف موسيقي)، تخرق هذه الخطوة أهداف الكلمة التالية أو النغمة الموسيقية التالية.

إذا كان الحل عند هذه النقطة يُعتقد بأنه متعذر، يقدم البرنامج قيمة إخفاق.

- إذا لم يتم حل المسألة ولم يكن متعذر حلها عند هذه النقطة من التوسع التكراري، حدد ما إذا كان يجب أو لا يجب التخلي عن التوسع بأية طريقة. وهذا جانب مهم من التصميم ويضع في اعتباره الكمية المحدودة لوقت الكمبيوتر التي علينا أن نقضيها. والأمثلة هي:

(١) في سياق مباراة (شطرنج مثلًا)، تجعل هذه الحركة موقفنا «متقدمًا» أو «متأخرًا» إلى حد بعيد. وقد لا يكون اتخاذ هذا القرار مباشرًا ويكون قرارًا للتصميم الرئيسي. ومع ذلك، يمكن أن تظل المداخلات البسيطة (مثل إضافة قيم قطع) تتيح نتائج جيدة. إذا كان البرنامج يقرر أن جانبنا متقدم بما فيه الكفاية، فإن انتقي أفضل خطوة تالية يقدم طريقة مشابهة لقرار أن جانبنا قد فاز (أي بقيمة نصر). إذا كان البرنامج يقرر أن جانبنا متأخر إلى حد بعيد، فإن انتقي أفضل خطوة تالية يقدم طريقة مشابهة لقرار بأن جانبنا مهزوم (أي قيمة هزيمة).
(٢) في سياق حل فرضية رياضية، تتضمن هذه الخطوة تحديد ما إذا كانت سلسلة الخطوات في البرهان ليس من المحتمل أن تعطي برهانًا. إذا كان الأمر كذلك، يجب التخلي عن المسار، ويقدم انتقي أفضل خطوة تالية طريقة مشابهة لقرار أن هذه الخطوة تخرق الفرضية (أي بقيمة إخفاق). ليس هناك نظير «برمجي» للنصر. لا يمكننا الحصول على قيمة نصر إلا إذا كنا قد قمنا بحل المسألة بالفعل. هذه هي طبيعة الرياضيات.

(٣) في سياق برنامج فني (مثلًا شاعر سبراني أو مؤلف موسيقي)، تتضمن هذه الخطوة تحديد ما إذا كان تسلسل الخطوات (مثلًا كلمة في قصيدة، أو ألحان في أغنية) ليس من المرجح أن تفي بحاجة أهداف الخطوة التالية. إذا كان الأمر كذلك، عندئذ يجب التخلي عن المسار، ويقدم انتقي أفضل خطوة تالية طريقة مشابهة لقرار أن هذه الخطوة تخرق أهداف الخطوة التالية (أي، بقيمة إخفاق).

• إذا لم يقدم انتقي أفضل خطوة تالية أي شيء (لأن البرنامج ليس لديه قرار نجاح أو إخفاق ولم يتخذ قرارًا بأن هذا المسار يجب التخلي عنه عند هذه النقطة)، عندئذ لا يكون لدينا إفلات من هذا التوسع التكراري المستمر. وفي هذه الحالة، نولِّد الآن قائمة بكل الخطوات التالية الممكنة عند هذه النقطة. وهنا يأتي البيان الدقيق عن المسألة كما يلي:

(١) في سياق مباراة (شطرنج مثلًا)، يتضمن ذلك توليد كل الحركات الممكنة لـ «جانبنا» للحالة الراهنة للوحة. وهذا يتضمن تصنيف مباشر لقواعد المباراة.

(٢) في سياق التوصل إلى برهان لفرضية رياضية، يتضمن ذلك وضع قائمة للبديهيات الممكنة أو الفرضيات التي سبق البرهنة على صحتها التي يمكن تطبيقها عند هذه النقطة من الحل.

(٣) في سياق برنامج فن سبراني، يتضمن ذلك وضع قائمة لأجزاء من الكلمات/الألحان/المقطوعات الموسيقية التي يمكن استخدامها عند هذه النقطة.

لكل مثل هذه الخطوات التالية الممكنة:

(١) قم بإنشاء الموقف الافتراضي الذي قد يوجد إذا كانت هذه الخطوة قابلة للتنفيذ. وفي مباراة، هذا يعني الحالة الافتراضية للوحة. وفي برهان رياضي، هذا يعني إضافة هذه الخطوة (بديهية مثلًا) إلى البرهان. وفي برنامج فن، هذا يعني إضافة هذا الجزء من الكلمة/اللحن/المقطوعة الموسيقية.

(٢) الآن اطلب من انتقي أفضل خطوة تالية أن يفحص هذا الموقف الافتراضي. وهنا، بالطبع، يأتي التكرار لأن البرنامج الآن يطلب من نفسه.

(٣) إذا كان النداء السابق لـ انتقي أفضل خطوة تالية يقدم قيمة نجاح، نعود من نداء انتقي أفضل خطوة تالية (وهو ما نحن فيه الآن)، أيضًا بقيمة «نجاح» وإلا اتخذ الخطوة التالية الممكنة.

إذا كانت كل الخطوات التالية الممكنة تم أخذها في الاعتبار دون العثور على خطوة ينتج عنها العودة من نداء انتقي أفضل خطوة تالية بقيمة نجاح، عندئذ نعود من نداء انتقي أفضل خطوة تالية (وهو ما نحن فيه الآن) بقيمة إخفاق.

**نهاية انتقي أفضل خطوة تالية**

إذا كان النداء الأصلي لـ انتقي أفضل خطوة تالية يقدم قيم نجاح، فإنه يقدم أيضًا المتتالية الصحيحة للخطوات:

(١) في سياق مباراة، الخطوة التالية في هذه المتتالية هي الحركة التالية التي عليك القيام بها.

(٢) في سياق برهان رياضي، تكون المتتالية الكاملة للخطوات هي البرهان.

(٣) في سياق برنامج فن سبراني، تكون متتالية الخطوات هي العمل الفني.

إذا كان النداء الأصلي لـ انتقي أفضل خطوة تالية هو إخفاق، تحتاج عندئذ إلى العودة إلى لوحة السحب.

## قرارات مهمة في التصميم

في المخطط البسيط السابق، يحتاج مصمم الخوارزم التكراري إلى تحديد ما يلي في البداية:

- مفتاح الخوارزم التكراري هو القرار في انتقي أفضل خطوة تالية عندما يتم تجنب توسع تكراري. وهذا أمر سهل عندما يصل البرنامج إلى نجاح واضح (مثلًا إماتة الملك في الشطرنج، أو حل مطلوب في الرياضيات أو مسألة توليفية) أو إخفاق واضح. ويكون الأمر

أكثر صعوبة عندما لا يكون قد تم الوصول بعد إلى نصر أو هزيمة واضحتين. التخلي عن حد في الاستفسار قبل التحديد الجيد للمخرجات يكون ضروريًا وإلا قد يعمل البرنامج مليارات السنوات (أو على الأقل حتى يصبح مبرر وجود كمبيوترك قد انتهى).

- المطلب الأساسي الآخر للخوارزم التكراري هو التصنيف المباشر للمسألة. في مباراة مثل الشطرنج، يكون هذا الأمر سهلًا. ولكن في مواقف أخرى، لا يكون التعريف الواضح للمسألة بهذه السهولة دائمًا في الحصول عليه.

**بحث تكراري سعيد!**

اللاعبون البشر لهم نزعات معقدة جدًّا. وعلى ما يبدو أن هذا هو حال البشر. نتيجة ذلك، حتى أفضل لاعبي الشطرنج يعجزون عن التفكير مليًا في أكثر من مائة حركة، مقارنة ببضع مليارات لدى ديب بلو. لكن كل حركة بشرية يتم التفكير فيها بعمق. ومع ذلك، حدث في ١٩٩٧ أن هُزم جاري كاسباروف، أفضل نموذج لمدرسة النزعة المعقدة، بواسطة كمبيوتر ساذج.

بشكل شخصي، أنا من مدرسة ثالثة في التفكير. إنها لا تمثل كثيرًا مدرسة، في الحقيقة. في حدود معرفتي لم يجرب أحد هذه الفكرة. إنها تتضمن جمع الخوارمات التكرارية والشبكات العصبية، وسوف أقدمها في النقاش حول الشبكات العصبية التالية.

## الشبكات العصبية

في بداية الستينيات ومنتصفها أصبحت أبحاث الذكاء الاصطناعي مفتونة بالآلة سريعة الفهم Perceptron، وهي آلة مكونة من نماذج رياضية للعصبونات البشرية. وكان نجاح هذه الآلات المبكرة متواضعًا في مهام تمييز النمط مثل التعرف على الأحرف المطبوعة وأصوات الكلام. وبدا أن كل ما نحتاج إليه لنجعل هذه الآلات أكثر ذكاء هو إضافة المزيد من العصبونات والمزيد من الأسلاك.

ثم جاء كتاب مارفن منسكي وسيمور بابيرت في ١٩٦٩، «الآلات سريعة الفهم»، الذي أثبت مجموعة فرضيات من الواضح أنها تُظهر أن الآلة سريعة الفهم لن يمكنها أبدًا أن تحل المسألة السهلة حول ما إذا كان أو لم يكن الرسم بخط واحد «متصل» (في الرسم المتصل تكون كل الأجزاء متصلة بعضها ببعض بخطوط). وكان للكتاب تأثير مثير، وفي واقع الأمر توقفت كل الأعمال حول الآلات سريعة الفهم.[٢]

في أواخر السبعينيات وفي الثمانينيات، بدأ النموذج الإرشادي لإنشاء محاكيات كمبيوتر للعصبونات البشرية، والذي أطلق عليه حينئذ الشبكات العصبية، يستعيد رواجه. وكتب أحد المراقبين في ١٩٨٨:

> يحكى أنه كان هناك عِلمان ابنتان لعلم جديد هو علم السبرانية. كانت إحدى الأختين طبيعية، بملامح ورثتها من دراسة المخ، ومن الطريقة التي تصنع بها الطبيعة الأشياء. وكانت الأخرى اصطناعية، مرتبطة منذ البداية باستخدام الكمبيوترات. حاولت كلًا من العلمين الأختين عمل نماذج (يُطلق عليها الشبكات العصبية) من عصبونات رياضية خالصة. أنجزت الأخت الاصطناعية نماذجها من برامج كمبيوتر.
>
> في أول ازدهار شبابهما كان نجاحهما متماثلًا ويغازلهما بشكل متماثل كل طلاب الخطبة من مجالات المعرفة المختلفة. وتوافقتا معًا بشكل جيد. وتغيرت العلاقة بينهما في بداية الستينيات عندما ظهر حاكم جديد، حاكم لديه موارد مالية ضخمة غير مسبوقة في مملكة العلوم: اللورد داربا DARPA ، وكالة مشاريع الأبحاث المتقدمة في وزارة الدفاع. أصابت الغيرة الأخت الاصطناعية وقررت الاحتفاظ لنفسها بحق استعمال تمويلات أبحاث داربا. وأصبح من المقرر ذبح الأخت الطبيعية.
>
> تمت محاولة ارتكاب هذا العمل الدموي بواسطة معجبان مخلصان بالأخت الاصطناعية. وصاغ مارفين منسكي وسيمور بابيرت دور الصياد الذي تم إرساله لذبح سنو هوايت Snow White وإحضار قلبها كبرهان على ما فعل. لم يكن سلاحهما الخنجر لكنه القلم الأكثر احترامًا، ومنه جاء كتاب — الآلات سريعة الفهم — يدعي أنه يثبت أن الشبكات العصبية لن تفي أبدًا بوعدها ببناء نماذج للمخ: فقط برامج الكمبيوتر هي التي يمكنها عمل ذلك. النصر بدا مؤكدًا بالنسبة للأخت الاصطناعية. وفي الحقيقة، فإنه

> خلال العقد التالي جاءت كل جوائز المملكة لنسلها، حيث حصلت عائلة النظم الخبيرة على أفضل شهرة وثروة.
> لكن سنو هوايت لم تكن قد ماتت. وما قدمه منسكي وبابيرت للعالم باعتباره برهانًا لم يكن قلب الأميرة، كان قلب خنزير.

كان كاتب البيان السابق هو سيمور بابيرت.[٣] يعكس تلميحه الساخر حول القلوب الدموية سوء فهم واسع الانتشار لتضمينات الفرضية المركزية في كتابه هو ومنسكي في ١٩٦٩. وتُظهر الفرضية حدودًا لقدرات الطبقة الواحدة للعصبونات التي تمت محاكاتها. فإذا، من جانب آخر، وضعنا الشبكات العصبية ذات المستويات المتعددة ــ حيث تتم تغذية خرج شبكة عصبية إلى الشبكة التالية ــ سوف يتسع نطاق كفاءتها إلى حد بعيد. ويضاف إلى ذلك، إذا جمعنا بين الشبكات العصبية والنماذج الإرشادية الأخرى، يكون لدينا حتى الآن تقدم أكبر. وينتمي القلب الذي استخلصه منسكي وبابيرت من الناحية الأساسية إلى شبكة عصبية ذات طبقة واحدة.

ويعكس تهكم بابيرت أيضًا مساهماته هو ومنسكي المهمة في مجال الشبكة العصبية. وفي الحقيقة، بدأ منسكي سيرة حياته المهنية بمساهمات خلاقة في هذا التصور في هارفارد في الخمسينيات.[٤]

لكن كفى مناورة. ما هي القضايا الرئيسية في تصميم الشبكة العصبية؟

أحد القضايا المهمة هي طوبولوجيا الشبكة: تنظيم التوصيلات ما بين العصبونات. والشبكة التي يتم تنظيمها بمستويات متعددة يمكنها إنتاج المزيد من التمييزات المعقدة لكن من الصعب تدريبها.

وتدريب الشبكة هو القضية الأكثر أهمية. وهذا يتطلب مجموعة ضخمة من النماذج عن الأنماط التي من المتوقع أن تنظمها الشبكة، إضافة إلى التعريف الصحيح لكل نمط. ويتم تقديم كل نمط إلى الشبكة. وبشكل نموذجي، تتقوى هذه التوصيلات التي تعود إلى التعرف الصحيح (بزيادة قيمتها المصاحبة لها)، وتلك التي تعود إلى تعرف خاطئ تضعف. تلك الطريقة في تقوية وإضعاف قيمة الوصلة يطلق عليه الامتداد الخلفي back-propagation ويعتبر أحد الطرق المتعددة المستخدمة. وهناك خلاف حول كيفية إنجاز هذا التدريب في الشبكات العصبية في مخ الإنسان، حيث لا يبدو أن هناك أية آلية يمكن للامتداد الخلفي أن يحدث بها. أحد الطرق التي يبدو أنها تُستخدم من قِبل المخ البشري هي أن مجرد إطلاق العصبون يزيد من قوى الناقل العصبي لنقاط الاتصال

synapses المتصلة به. وأيضًا اكتشف علماء البيولوجيا حديثًا أن الرئيسيات، وكل أشباه البشر، تنمو لديها خلايا مخ خلال حياتها كلها، بما في ذلك سن البلوغ، وهو ما يتناقض مع العقيدة الأسبق بأن هذا غير ممكن.

## تلال صغيرة وكبيرة

قضية مهمة في الخوارزميات الملائمة ــ خوارزميات الشبكات العصبية والخوارزميات التطورية ــ يُشار إليها غالبًا بأنها الأفضلية المحلية ضد الأفضلية الشاملة: بعبارة أخرى، تسلق التل الأقرب في مواجهة العثور على أكبر تل وتسلقه. مع تعلم الشبكة العصبية (بضبط قوى الوصلة)، أو مع تطور خوارزم تطوري (بضبط الشفرة «الجينية» للكائنات التي تمت محاكاتها)، سوف تتحسن ملائمة الحل، حتى الوصول إلى الحل «الأفضل محليًا.» وإذا قارنا ذلك بتسلق تل، تعتبر تلك الطرق جيدة جدًّا للوصول إلى قمة التل القريب، وهو أفضل حل ممكن في المنطقة المحلية للحلول الممكنة. لكن أحيانًا قد تصبح هذه الطرق محتجَزة عند قمة تل صغير وتفشل في رؤية جبل أكثر ارتفاعًا في منطقة مختلفة. وفي سياق شبكة عصبية، إذا كانت هذه الشبكة تقترب من حل مفضل محليًّا، وهي تحاول ضبط أي من قوى الوصلة، تصبح الملاءمة أسوأ. لكن بمجرد أن يحتاج المتسلق للهبوط إلى ارتفاع منخفض حتى يستلق في النهاية إلى نقطة أعلى على تل مختلف، قد تحتاج الشبكة العصبية (أو الخوارزم التطوري) إلى أن يكون الحل الأسوأ مؤقتًا حتى تجد في النهاية حلًّا أفضل.

وإحدى المقاربات لتجنب مثل هذا الحل الأفضل «الزائف» مثل (تل صغير) هو إرغام الطريقة الملائمة لأن تقوم بالتحليل مرات متعددة مبتدئة بأحوال أولية مختلفة تمامًا ــ بعبارة أخرى، إرغامها على تسلق الكثير من التلال، وليس واحدًا فقط. ولكن حتى بهذه المقاربة، يظل مصمم النظام في حاجة إلى التأكد من أن الطريقة الملائمة لم يفتها حتى جبل أعلى في أرض بعيدة مع ذلك.

## مختبر الشطرنج

يمكننا الحصول على بعض من نفاذ البصيرة في المقارنة بين التفكير الإنساني والمقاربات التقليدية للكمبيوتر بأن نفحص من جديد مقاربات الإنسان والآلة للشطرنج. وأنا أفعل ذلك بالأحرى لأنه يُظهر تناقضًا واضحًا لا لكي أعيد بشكل متكرر قضية لعب الشطرنج.

يعتبر راج ريدي Raj Reddy مؤيد الذكاء الاصطناعي في جامعة كارنيجي ميلون، أن دراسات الشطرنج تلعب دورًا في الذكاء الاصطناعي مثل ذلك الذي تلعبه بكتريا أ. كولاي في البيولوجيا: مختبر مثالي لدراسة المسائل الأساسية.[٥] تستخدم الكمبيوترات أقصى سرعة لها لكي تحلل المجموعات الضخمة التي تتولد عن الانفجار التوليفي للحركات والحركات المضادة. بينما قد تستخدم برامج الشطرنج بعض المهارات الخاصة (مثل تخزين افتتاحيات كل مباريات المحترفين في الشطرنج في هذا القرن والحوسبة المسبقة لنهايات المباريات)، فإنها تعتمد من الناحية الأساسية على جمعها بين السرعة والدقة. وبالمقارنة، فإن البشر، حتى البارعين في الشطرنج، يتصفون بالبطء وعدم الدقة إلى حد بعيد. لذلك فإننا نحسب كل حركاتنا في الشطرنج. وهذا هو سبب الحاجة إلى وقت طويل ليصبح الإنسان بارعًا في الشطرنج، أو بارعًا في أية هواية. لقد قضى جاري كاسباروف أغلب عقوده القليلة على الكوكب في دراسة ــ وممارسة ــ حركات الشطرنج. ويقدِّر الباحثون أن البارعين في موضوع غير عادي يخزنون في الذاكرة نحو خمسين ألف من حالات نفاذ البصيرة «الصغيرة» هذه.

عندما يلعب كاسباروف، فإنه، أيضًا يُنشئ شجرة حركات وحركات مضادة في مخه، لكن قيود السرعة العقلية الإنسانية وذاكرة المدى القصير، يحدان من شجرته العقلية إلى ما لا يتجاوز بضعة مئات من أوضاع اللوحة، إن لم يكن أقل من ذلك. ويقابل ذلك مليارات من أوضاع اللوحة لدي خصمه الإلكتروني. لذلك فإن الإنسان البارع في الشطرنج مضطر لأن يشذب شجرته العقلية إلى حد بعيد، بالتخلص من الغصون غير المثمرة باستخدام قدراته الكبيرة على تمييز النمط. ويلائم بين كل وضع على اللوحة ــ الراهن والمتخيل ــ وقاعدة البيانات هذه المتكونة من عشرات الآلاف من المواقف السابقة التي تم تحليلها.

بعد هزيمة كاسباروف في ١٩٩٧، قرأنا الكثير حول أن ديب بلو لم يكن يفعل سوى إجراء عدد ضخم من العمليات الحسابية، ولم يكن «يفكر» حقيقة بالطريقة التي يتبعها منافسه البشري. ويمكن القول بأن العكس هو الصحيح، وأن ديب بلو كان يفكر بالفعل في تضمينات كل حركة وحركة مضادة، وأن كاسباروف لم يكن لديه ما يكفي من الوقت للتفكير فعلًا بسرعة كبيرة خلال سلسلة المباريات. وفي الغالب كان يستوحي فقط من قاعدة بياناته العقلية المواقف التي فكر فيها منذ وقت بعيد. (بالطبع، يعتمد ذلك على تصورنا عن التفكير، كما شرحت في الفصل ٣). لكن إذا كانت مقاربة الإنسان للشطرنج ــ تمييز النمط المعتمد على الشبكة العصبية المستخدم في تعريف المواقف من

مجموعة من المواقف السابق تحليلها ــ يمكن اعتبارها تفكيرًا حقيقيًا، إذن لماذا لا نبرمج آلاتنا لتعمل بنفس الطريقة؟

## الطريق الثالث

وإنها لفكرتي تلك التي سبق أن لَمَّحت إليها باعتبارها مدرسة ثالثة في التفكير في تطور الأوراق الطرفية في البحث التكراري. لنتذكر أن المدرسة الساذجة تستخدم مقاربة مثل إضافةُ قيم قطعة لتقييم موضع خاص على اللوحة. وتدافع مدرسة التفكير المعقد عن تحليل منطقي أكثر استفاضة وأكثر استهلاك للوقت. وأنا أدافع عن الطريق الثالث: الجمع بين نموذجين إرشاديين بسيطين ــ التكراري والشبكة العصبية ــ باستخدام الشبكة العصبية لتقييم أوضاع اللوحة عند كل ورقة طرفية. ويعتبر تدريب الشبكة العصبية مستهلكًا للوقت ويتطلب كمية ضخمة من الحوسبة، لكن أداء مهمة تمييز واحدة على الشبكة العصبية التي تكون قد تعلمت بالفعل دروسًا يكون سريعًا جدًّا، مقارنة بالتطور الساذج. وبرغم سرعتها، تستوحي الشبكة العصبية الزمن بالغ الضخامة الذي قضته مسبقًا في تعلم هذه المادة. وحيث إن لدينا كل مباريات البارعين في الشطرنج في هذا القرن متاحة على شبكة المعلومات العالمية مباشرة، يمكننا استخدام هذه الكمية الهائلة من البيانات لتدريب الشبكة العصبية. ويتم إجراء هذا التدريب في أي وقت وبشكل منعزل (أي ليس خلال المباراة الفعلية). عندئذ يمكن استخدام الشبكة العصبية المدربة لتقييم أوضاع اللوحة في كل ورقة طرفية. مثل هذا النظام يمكنه الجمع بين ميزة السرعة الأعلى بمليون مرة لدى الكمبيوترات والقدرة الأكثر شبهًا بقدرة البشر على تمييز الأنماط خلال تجربتهم طوال حياتهم.

اقترحت هذه المقاربة على موراي كامبيل Murray Campbell، مدير فريق ديب بلو، ووجد أنها مثيرة للاهتمام وجذابة. واعترف بأنه مُنهك على أي حال، من تعديل خوارزم تقييم الورقة يدويًا. تحدثنا حول إعداد فريق استشاري لتنفيذ هذه الفكرة، لكن آي.بي. إم ألغت كل مشروع الشطرنج. وأعتقد أن أحد مفاتيح محاكاة تنوع الذكاء البشري من الأفضل أن يكون بالجمع بين النماذج الإرشادية الأساسية. وسوف نتحدث عن كيفية معالجة النموذج الإرشادي لخوارزميات التطور في ما يأتي.

## «شبه شفرة» بدون رياضيات لخوارزم الشبكة العصبية

في ما يلي التخطيط الأساسي لخوارزم الشبكة العصبية. أي طرق أخرى مختلفة ممكنة، ويحتاج مصمم النظام إلى تقديم بارامترات (مقادير متغيرة القيمة) ومناهج محددة مهمة، موجودة بالتفصيل في ما يلي.

### خوارزم الشبكة العصبية

إيجاد حل شبكة عصبية لمسألة ما يتضمن الخطوات الآتية:

- حدد المُدخل.
- حدد طوبولوجيا الشبكة العصبية (أي، الطبقات والتوصيلات بين العصبونات).
- درِّب الشبكة العصبية على نماذج من المسألة.
- شغِّل الشبكة العصبية المتدرِّبة لحل نماذج جديدة من المسألة.
- أعلن عن شركة الشبكة العصبية الخاصة بك.

هذه الخطوات مذكورة (باستثناء الأخيرة) بالتفصيل في ما يأتي:

### مُدخل المسألة

مُدخل المسألة إلى الشبكة العصيبة يتكون من سلاسل من الأرقام. يمكن لهذا المدخل أن يكون:

- في نظام تمييز إطار مرئي: تمثل مجموعة أعداد في البعدين بكسلات صورة، أو
- في نظام تمييز سمعي (كلام مثلًا): تمثل مجموعة أعداد في البعدين صوتًا ما، حيث البعد الأول يمثل بارامترات الصوت (مثل عناصر التردد) والبعد الثاني يمثل اللحظات المختلفة في الزمن، أو
- في نظام تمييز نمط عشوائي: تمثل مجموعة أعداد في الأبعاد ن N نمط المدخل.

## تحديد الطوبولوجيا

لإعداد الشبكة العصبية:

يتكون أسلوب تصميم كل عصبون من:

- مُدخلات متعددة حيث كل مُدخل «متصل» بمخرج عصبون آخر أو أحد أعداد المدخل.
- بشكل عام، مدخل واحد، يتصل إما بمدخل عصبون آخر (يكون عادة في طبقة أعلى) أو إلى مخرج نهائي.

قم بإعداد أول طبقة من العصبونات:

- قم بإنشاء $N_0$ عصبونات في الطبقة الأولى. ولكل من هذه العصبونات «وَصِّل» كل واحد من المدخلات المتعددة للعصبون بـ «نقاط» (أي أعداد) في مدخل المسألة. ويمكن تحديد هذه التوصيلات عشوائيًا أو يتم استخدام خوارزم تطوري (انظر ما يلي).
- حدد «قوة مشبكية» أولية لكل وصلة تم تكوينها. وهذه القوى يمكن أن تبدأ كلها معًا، أو يمكن أن تتحدد عشوائيًّا، أو يمكن تحديدها بطريقة أخرى (انظر ما يلي).

قم بإعداد الطبقات الإضافية للعصبونات:

قم بإعداد مجمل طبقات عصبونات M. ولكل طبقة، قم بإعداد عصبونات في هذه الطبقة.

للطبقة$_i$:

- قم بإنشاء عصبونات $N_i$ في الطبقة. ولكل من هذه العصبونات «وَصِّل» كل المدخلات المتعددة للعصبون بمخرجات العصبونات في الطبقة$_{(i-1)}$ (انظر المتغيرات في ما يلي).
- حدد «قوة مشبكية» أولية لكل وصلة تم تكوينها. وهذه القوى يمكن أن تبدأ كلها معًا، أو يمكن أن تتحدد عشوائيًا، أو يمكن تحديدها بطريقة أخرى (انظر ما يلي).

- مخرجات العصبونات في الطبقة$_M$ هي مخرجات الشبكة العصبية (انظر الاختلافات في ما يلي).

## تجارب التمييز

كيفية عمل كل عصبون:

بمجرد إعداد العصبون، تقوم بما يلي لكل تجربة تمييز.

- يتم حساب كل مدخل ذي قوة إلى العصبون بضرب خرج العصبونات الأخرى (أو المدخل الأصلي) التي يتصل بها مدخل هذا العصبون في القوة المشبكية لهذه الوصلة.
- يتم جمع كل هذه المدخلات ذات القوة إلى العصبون.
- إذا كان هذا المجموع أكبر من عتبة إطلاق كل عصبون، يتم اعتبار هذا العصبون «منطلقًا» وخرجه هو ١. وفي ما عدا ذلك، يكون خرجه صفر (انظر الاختلافات في ما يلي).

قم بإنجاز ما يلي لكل تجربة تمييز:

لكل طبقة، من الطبقة صفر إلى الطبقة$_M$:

ولكل عصبون في كل طبقة:

- قم بجمع مدخلاتها ذات القوة (كل مدخل ذو قوة = مخرج العصبون الآخر [أو المدخل الأصلي] الذي يتصل بمدخل هذا العصبون، مضروبًا في القوة المشبكية لهذه الوصلة).
- إذا كان هذا المجموع للمدخلات ذات القوة أكبر من عتبة الإطلاق لهذا العصبون، حدد مخرج هذا العصبون بأنه = ١، وفي ما عدا ذلك يكون مساويًا للصفر.

## لتدريب الشبكة العصبية

- قم بتشغيل تجارب التمييز على عينة من المسائل.

- بعد كل تجربة، قم بضبط القوى المشبكية لكل الوصلات ما بين العصبونات لتحسين أداء الشبكة العصبية في هذه التجربة (انظر المذكور لاحقًا حول كيفية عمل ذلك).
- استمر في هذا التدريب حتى يكون معدل دقة الشبكة العصبية غير قابل للتحسين بعد ذلك (أي يصل إلى الخط المقارب asymptote).

## قرارات التصميم المهمة

في المخطط البسيط السابق، يحتاج مصمم هذه الشبكة العصبية إلى أن يحدد في البداية:

- ما تمثله أعداد المدخل.
- عدد طبقات العصبونات.
- عدد العصبونات في كل طبقة (لا تحتاج كل طبقة بالضرورة لأن يكون لها نفس عدد العصبونات).
- عدد مدخلات كل عصبون، في كل طبقة. يمكن أيضًا لعدد المدخلات (أي وصلات ما بين العصبونات) أن يختلف من عصبون إلى عصبون، ومن طبقة إلى طبقة.
- «التوصيلات» الفعلية (أي الوصلات). لكل عصبون، في كل طبقة، تتكون هذه التوصيلات من قائمة بالعصبونات الأخرى، والمخرجات التي تتكون منها مدخلات كل عصبون. ويمثل ذلك مجال تصميم مهم. وهناك عدد من الطرق الممكنة لفعل ذلك:

(١) قم بتوصيل الشبكة العصبية عشوائيًا، أو
(٢) استخدم خوارزم تطوري (انظر القسم التالي في هذا الملحق) لتحديد أفضل توصيل، أو
(٣) استخدم نظام تصميم لأفضل تقدير لتحديد الوصلة.

- القوى المشبكية الأولى (أي الترجيحات) لكل وصلة. هناك عدد من الطرق الممكنة لعمل ذلك:

(١) اجعل للقوى المشبكية نفس القيمة، أو
(٢) اجعل للقوى المشبكية قيم مختلفة عشوائية، أو
(٣) استخدم خوارزم تطوري لتحديد أفضل مجموعة للقيم الأولية، أو
(٤) استخدم نظام تصميم لأفضل تقدير في تحديد القيم الأولية.

- عتبة الانطلاق لكل عصبون.
- حدد الخرج. يمكن للخرج أن يكون:

(١) مخرجات الطبقة$_M$ للعصبونات، أو
(٢) خرج لخرج مفرد لعصبون، حيث مدخلاته هي مخرجات العصبونات في الطبقة$_M$،
(٣) دالة (جمع مثلًا) مخرجات العصبونات في الطبقة$_M$، أو
(٤) دالة أخرى لمخرجات عصبون في الطبقات المتعددة.

- حدد كيفية ضبط القوى المشبكية لكل الوصلات خلال تدريب هذه الشبكة العصبية. هذا قرار مهم في التصميم وهو موضوع كمية كبيرة من أبحاث الشبكة العصبية والمناقشات حولها. وهناك عدد من الطرق الممكنة للقيام بذلك:

(١) لكل تجربة تمييز تتم زيادة أو نقص كل قوة مشبكية بمقدار ثابت (صغير بشكل عام) بحيث يتلاءم خرج الشبكة العصبية بدرجة أكبر ما تكون مع الإجابة الصحيحة. أحد طرق فعل ذلك هو محاولة إجراء كل من الزيادة والنقص وفحص أيهما له التأثير الأكثر تفضيلًا. وقد يستهلك ذلك وقتًا طويلًا لذلك هناك طرق أخرى لاتخاذ قرارات محلية حول ما إذا كان يجب إجراء الزيادة أو النقص لكل قوة مشبكية.
(٢) هناك طرق أخرى إحصائية لتحسين القوى المشبكية بعد كل تجربة تمييز حتى يصبح أداء الشبكة العصبية في هذه التجربة أكثر اقترابًا بكثير من التلاؤم مع الإجابة الصحيحة.

لاحظ أن تدريب الشبكة العصبية سينجح إذا كانت الإجابات في تجارب التدريب ليست كلها صحيحة. وهذا يسمح باستخدام بيانات التدريب في العالم الحقيقي التي قد يكون فيها معدل أخطاء متأصل. أحد مفاتيح النجاح في نظام التمييز القائم على الشبكة العصبية هو كمية البيانات المستخدمة في التدريب. وعادة تكون الحاجة إلى كمية كبيرة للحصول على نتائج مُرضية. ومثل الطلاب البشر تمامًا، كمية الزمن التي تقضيها الشبكة العصبية في تعلم دروسها عامل مهم في أدائها.

### اختلافات

يمكن أن يوجد الكثير من الاختلافات عن ما سبق. بعض الاختلافات تتضمن:

- هناك طرق مختلفة لتحديد الطبولوجيا، كما تم ذكره سابقًا. وبشكل خاص، يمكن وضع التوصيل ما بين العصبونات إما بشكل عشوائي أو باستخدام خوارزم تطوري.
- هناك طرق مختلفة لتحديد القوى المشبكية الأولية، كما سبق ذكره.
- مدخلات العصبونات في الطبقة$_i$ لا تحتاج بالضرورة أن تأتي من مخرجات عصبونات الطبقة$_{(i-1)}$. وبدلًا من ذلك، يمكن أن تأتي المدخلات إلى العصبونات في كل طبقة من أي طبقة أدنى أو أي طبقة.
- هناك طرق مختلفة لتحديد الخرج النهائي، كما ذُكر سابقًا.
- لكل عصبون، تقارن الطريقة المذكورة سابقًا مجموع المدخلات المرجَّحَة بعتبة هذا العصبون. إذا كان قد تم تخطي العتبة ينطلق العصبون ويكون خرجه ١. وفي ما عدا ذلك، يكون خرجه صفر. ويوصف هذا الإنطلاق «الكل أو لا شيء» باللاخطية nonlinearity. هناك دوال غير خطية أخرى يمكن استخدامها. وبشكل عام يتم استخدام أي دالة تنتقل من صفر إلى ١ بطريقة سريعة لكنها تدريجية أكثر (من الكل أو لا شيء). أيضًا، يمكن للمخرجات أن تكون أعدادًا غير صفر و١.
- تمثل الطرق المختلفة لضبط القوى المشبكية خلال التدريب، والتي تم توضحيها باختصار في ما سبق، قرار تصميم مهم.

• يصف المخطط السابق شبكة عصبية «متزامنة»، حيث كل تجربة تدريب تتبعها حوسبة مخرجات كل طبقة، ابتداء من الطبقة صفر ومن خلال الطبقةM. وفي النظام الموازي الحقيقي، حيث كل عصبون يعمل بشكل مستقل عن العصبونات الأخرى، يمكن للعصبونات أن تعمل بشكل متزامن (أي بشكل مستقل). وفي المقاربة المتزامنة، يقوم كل عصبون مرارًا وتكرارًا بمسح مدخلاته وانطلاقاته (أي تغيرات مخرجاته من صفر إلى ١) كلما تجاوزت مدخلاته المرجحة عتبته (أو بدلًا من ذلك، باستخدام دالة خرج أخرى غير خطية).

**تَوَاؤُم سعيد!**

## خوارزميات تطورية

إذا كان علماء البيولوجيا قد تجاهلوا التنظيم الذاتي، لم يكن ذلك لأن التنظيم الذاتي ليس منتشرًا في كل مكان وليس متعمقًا. لكن لأننا علماء البيولوجيا لا يزال علينا أن نفهم كيفية التفكير في النظم التي يتحكم فيها بشكل متزامن مصدران للنظام. وحتى الآن فإن من يرى ندفة الثلج، ومن يرى مظهر الجزيئات الدهنية طافية على الماء وهي تشكل من نفسها تجويفات دهنية تشبه الخلية، ومن يرى قدرة تبلر الحياة في أسراب من الجزيئات المتفاعلة، ومن يرى النظام المذهل في شبكات تصل بين عشرات وعشرات الآلاف من المتغيرات، قد يفشل في الاستمتاع بفكرة أساسية: لو كان علينا بأية طريقة الوصول إلى نظرية نهائية في البيولوجيا، سيكون علينا بالتأكيد أن نفهم الامتزاج بين التنظيم الذات والانتخاب. سيكون علينا أن نرى أننا التعبير الطبيعي عن النظام الأكثر عمقًا. وفي النهاية، سوف نكتشف في أسطورة وجودنا أننا كنا متوقَّعِين رغم كل ذلك.

ستيوارت كوفمان Stuart Kauffman

كما سبق أن ذكرت، يتضمن أي خوارزم تطوري بيئة وُجدت بالمحاكاة حيث تتنافس برمجيات موجودة بالمحاكاة «كائنات» من أجل البقاء وحق التكاثر. وكل برمجيات كائن تمثل حلًا ممكنًا لمسألة مشفرة في الدي إن إيه DNA الرقمي الخاص بها.

والكائنات التي يُسمح لها بالبقاء والتكاثر في الجيل التالي هي تلك التي تقوم بعمل أفضل في حل المسألة. ويُعتبر الخوارزم التطوري جزءًا من فئة الطرق «المنبثقة» لأن الحلول تنبثق تدريجيًا ولا يمكن عادة أن يتنبأ بها مصممو النظام. والخوارزميات التطورية قوية بشكل خاص عندما يتم توحيدها مع نماذجنا الإرشادية الأخرى. وفي ما يلي طريقة فريدة من نوعها لتوحيد كل نماذجنا الإرشادية «الذكية.»

## توحيد كل النماذج الثلاثة

يحتوي الجينوم البشري على ثلاثة مليارات درجة سلم من أزواج القواعد، وهو ما يساوي ستة مليارات بت من البيانات. وبضغط المعلومات قليلًا، سوف تلائم شفرتك الوراثية قرص ذاكرة قراءة فقط واحد. يمكنك تخزين كل عائلتك على قرص فيديو رقمي DVD. لكن في مخك ١٠٠ تريليون «توصيلة»، الذي قد يتطلب نحو ٣٠٠٠ تريليون بت لتمثيله. كيف لـ ١٢ مليار بتة معلومات فقط في كروموسوماتك (مع تقديرات معاصرة تشير إلى أن ٣ بالمائة فقط منها فعّال) أن تعيِّن توصيلات مخك، الذي يحتوي على معلومات أكثر بربع مليون مرة؟

من الواضح أن الشفرة الوراثية لا تحدد التوصيل الدقيق. وكان قد سبق لي أن قلت أنه يمكننا توصيل شبكة عصبية عشوائيًا وأن نحصل على نتائج مُرضية. هذا صحيح، لكن هناك طريقة أفضل لفعل ذلك، وهو أن نستخدم التطور. وأنا لا أشير إلى مليارات السنوات من التطور الذي أنتج المخ البشري. أنا أشير إلى أشهر من التطور الذي يحدث خلال جيل وطفولة مبكرة. مبكرًا في حياتنا، تكون الوصلات ما بين العصبونات لدينا منهمكة في معركة من أجل البقاء. وتلك التي يكون لها قيمة بالنسبة للعالم تنجو. وفي أواخر الطفولة، تصبح هذه الوصلات ثابتة نسبيًا، وهذا هو سبب أهمية تعريض المواليد والأطفال الصغار إلى بيئة محفزة. وخلاف ذلك، ينفد ما لدي العملية التطورية من شواش العالم الحقيقي والذي تستمد منه وحيها. يمكننا أن نفعل نفس الشيء مع شبكتنا العصبية المشبكية: نستخدم خوارزم تطوري لتحديد أفضل توصيل. هذا ما يفعله بالضبط مشروع بناء المخ الطموح في مختبر أبحاث كيوتو للاتصالات عن بُعد.

والآن في ما يلي كيف يمكنك حل مسألة تحتاج إلى كل القدرات بشكل ذكي باستخدام النماذج الإرشادية الثلاثة. أولًا، حدد مسألتك بعناية. تلك هي بالفعل أصعب خطوة. يحاول أغلب الناس حل المسائل بدون إزعاج أنفسهم لفهم ما تدور حوله هذه المسألة. ثانيًا، قم بتحليل الخطوط العامة المنطقية لمسألتك بشكل تكراري مستمر بالبحث خلالها باعتبارها مجموعات كثيرة من العناصر (مثلًا، حركات في مباراة، أو خطوات في حل) يكون لديك ولدى كمبيوترك الصبر لتصنيفها. وبالنسبة للأوراق الطرفية لهذا التوسع التكراري للحلول الممكنة، قم بتقييمها بواسطة شبكة عصبية. ولأفضل طوبولوجيا لشبكتك العصبية، حدد ذلك باستخدام خوارزم تطوري. وإذا لم ينجح كل ذلك، يكون لديك مسألة صعبة بالفعل.

### «شبه شفرة» لخوارزم تطوري

في ما يلي مخطط أساسي لخوارزم تطوري. يمكن أن تكون هناك طرق مختلفة كثيرة، ويحتاج مصمم النظام إلى تقديم بارامترات (مقادير متغيرة القيمة) ومناهج محددة مهمة، موجودة بالتفصيل في ما يلي.

### الخوارزم التطوري

احصل على N حل «مخلوقات.» كل منها لديه:

- شفرة وراثية — تتالي أعداد تميز حل ممكن للمسألة. ويمكن للأعداد أن تمثل بارامترات مهمة، أو خطوات للحل، أو قواعد ... إلخ

لكل جيل من التطور، قم بما يلي:

- قم بما يلي لكل من مخلوقات N حل:

(١) قم بتطبيق حل مخلوقات الحل هذا (كما هو مُعبَر عنه بشفرتها الوراثية) على المسألة، أو البيئة التي تم تحفيزها.
(٢) قم بتقييم الحل.

- انتقي كائنات L حل ذات التصنيف الأعلى في البقاء في الجيل الثاني.

- تخلص من كائنات الحل غير القادرة على البقاء (N-L).
- قم بإنشاء كائنات حل جديدة (N-L) من كائنات L جل التي استطاعت أن تبقى بواسطة:

(١) صنع نسخ من الكائنات الباقية L . قم بإجراء تغييرات قليلة عشوائية في كل نسخة، أو
(٢) قم بإنشاء كائنات حل إضافية بجمع أجزاء من الشفرة الوراثية (باستخدام التكاثر «الجنسي»، أو خلاف ذلك جمع أقسام من الكروموسومات) من الكائنات المتبقية L، أو
(٣) قم بالتوحيد بين (١) و(٢) السابقين.

- حدد ما إذا كان من الضروري أو لم يكن مواصلة التطور:

تحسينات = (التصنيف الأعلى في هذه الجيل)-(التصنيف الأعلى في الجيل السابق)

إذا كان التحسين > عتبة التحسين، عندئذ يكون العمل قد تم إنجازه.

- **يُعتبر كائن الحل ذي التصنيف الأعلى من الجيل الأخير للتطور هو الحل الأفضل. قم بتطبيق الحل المحدد بشفرته الوراثية على المسألة.**

## قرارات تصميم مهمة

في التخطيط البسيط السابق، يحتاج مصمم هذا الخوارزم التطوري إلى تحديد ما يلي في البداية:

- البارامترات المهمة

N

L

عتبة التحسين

- ما تمثله الأعداد في الشفرة الوراثية وكيف تم حساب الحل من الشفرة الوراثية.
- طريقة لتحديد كائنات الحل N في الجيل الأول. وبشكل عام، تلك التي تحتاج فقط إلى محاولات «مقبولة» في حل ما. إذا كانت حلول الجيل الأول هذه بعيدة تماماُ عن المسار المطلوب، قد يكون من الصعب أن يقترب الخوارزم التطوري من حل جيد، ومن الجدير بالاهتمام غالبًا أن يتم ابتكار كائنات حل أولية بطريقة تجعلها متنوعة إلى حد مقبول. وسوف يساعد ذلك على منع العملية التطورية من مجرد العثور على حل أفضل «محلي.»
- كيفية تصنيف الحلول.
- كيفية تكاثر كائنات الحل الباقية.

## اختلافات

يمكن أن يوجد الكثير من الاختلافات عن ما سبق. بعض الاختلافات تتضمن:

- لا تكون هناك حاجة إلى عدد ثابت من كائنات الحل الناجية (أي L) من كل جيل. والقاعدة (أو القواعد) الباقية يمكن أن تسمح بعدد متغير من الكائنات الباقية.
- لا تكون هناك حاجة إلى عدد ثابت من كائنات الحل الجديدة الناتجة في كل جيل (أي «N-L»). ويمكن أن تكون قواعد التكاثر مستقلة عن حجم عدد الكائنات. وقد يرتبط التكاثر بالبقاء، وبذلك يتيح لكائنات الحل الأكثر ملاءمة أن تتكاثر أكثر من غيرها.
- قرار ما إذا كان يجب أو لا يجب مواصلة التطور قد يتنوع. يمكن اعتباره أكثر من مجرد كائن الحل ذي التصنيف الأعلى من أكثر الأجيال حداثة. يمكن أيضًا اعتباره نزعة تصل إلى ما بعد مجرد الجيلين الأخيرين.

**تطور سعيد!**

# قائمة المصطلحات

**هارون Aaron**: روبوت كمبيوتري (مع برنامج مصاحب)، صممه هارولد كوهين، يبدع أشكالًا مرسومة ولوحات فنية مبتكرة.

**حل الإسكندر Alexander's solution**: تعبير يشير إلى قطع الإسكندر الكبير للعقدة الغوردية بسيفه. للدلالة على حل مشكلة مستعصية بوسائل حاسمة وغير متوقعة ومباشرة أيضًا.

**خوارزم Algorithm**: سلسلة من الأساليب المعيارية والتعليمات تصف طريقة أداء لحل مشكلة. ويصف برنامج كمبيوتر خوارزم أو أكثر بطريقة يمكن للكمبيوتر أن يفهمها.

**تسلسل Alu**: تسلسل لا معنى له من ٣٠٠ حرف نوكليوتيد يُوجد ٣٠٠ ألف مرة في الجينوم البشري (يطلق عليه هذا الاسم لأنه يتم شطره بإنزيم التحديد Alul ــ المترجم).

**قياسي Analog**: كمية تتغير باستمرار، كمقابل لتغير في الخطوات المتقطعة. ومعظم الظواهر في العالم الطبيعي قياسية. عندما نقيسها ونعطيها قيمة رقمية، فإننا نجعلها رقمية. ويستخدم المخ الإنساني كلًا من الحوسبة الرقمية والقياسية analog computation.

**الآلة التحليلية Analytical Engine**: أول كمبيوتر قابل للبرمجة، تم ابتكاره في أربعينيات القرن التاسع عشر بواسطة شارلز بابدج وأدا لوفلاس. للآلة التحليلية ذاكرة قراءة وكتابة RAM تتكون من ألف كلمة كل منها ٥٠ رقمًا عشريًا، ووحدة معالجة مركزية، ووحدة تخزين خاصة للبرنامج، وطابعة. ورغم أنها كمبيوترات حديثة واعدة، فإن ابتكار بابدج لم يعمل أبدًا.

**رأسمال تمويلي Angel Capital**: إشارة إلى التمويلات المتوافرة للاستثمار في شبكات المستثمرين الأغنياء الذين يستثمرون في شركات المشاريع الحديثة. وهو مصدر مهم لرأس المال للتقنية العالية في شركات المشاريع الحديثة في الولايات المتحدة.

**الذكاء الاصطناعي Artificial intelligence AI** : مجال الأبحاث التي تحاول محاكاة الذكاء البشري في آلة. وتتضمن المجالات في الذكاء الاصطناعي نظم قائمة على المعلومات، ونظم خبيرة، والتعرف على النمط، والتعلم الآلي، وفهم اللغة الطبيعية، وعلم وتقنيات الروبوت، وأشياء أخرى.

**الحياة الاصطناعي Artificial life**: كائنات حية ناتجة عن المحاكاة، يحتوي كل منها على مجموعة سلوك وقواعد إعادة إنتاج («شفرة وراثية» ناتجة عن المحاكاة)، وبيئة قائمة على المحاكاة. وتقلد الكائنات الحية الناتجة عن المحاكاة أجيالاً متعددة من التطور. ويمكن للمصطلح أن يشير إلى أي نمط ذاتي التوالد.

**أ. س. ر. ASR**: انظر الإدراك الأوتوماتي للكلام.

**الإدراك الأوتوماتي للكلام Automatic speech recognition ASR**: برنامج يتعرف على الكلام البشري. وبشكل عام، تتضمن نظم ASR القدرة على استخراج أنماط عالية المستوى من بيانات الكلام.

**ب. ج. م. BGM**: انظر الموسيقى المتولدة عن المخ Brain-generated music.

**نظرية الانفجار الكبير Big bang theory**: نظرية شهيرة عن بداية الكون، الانفجار الكوني من نقطة مفردة ذات كثافة لانهائية، تصور بداية الكون منذ مليارات السنوات.

**الانسحاق الكبير Big crunch**: نظرية تقول بأن الكون سوف يفقد في النهاية قوته الدافعة للتمدد ويتقلص وينهار في حدث هو عكس الانفجار العظيم.

**الهندسة الجينية Bioengineering**: مجال تصميم عقاقير صيدلية وأنوع من حياة النبات والحيوان بالتغيير المباشر للشفرة الجينية. ويتم استخدام المواد والعقاقير وأنواع الحياة المهندسة وراثيًا في الزراعة، والطب، وعلاج الأمراض.

**علم الأحياء Biology**: دراسة أشكال الحياة. بمصطلحات التطور، ظهور نماذج المادة والطاقة التي يمكنها البقاء والتكاثر لتكوين أجيال المستقبل.

**عضو إلكتروني حيوي Bionic organ**: في ٢٠٢٩، الأعضاء الاصطناعية التي يتم الحصول عليها باستخدام الهندسة النانوية.

**وكالة الحرب الحيوية Biowarfare Agency BWA**: في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، وهي وكالة حكومية تشرف على سياسات تقنية الهندسة الجينية المطبقة على الأسلحة.

**بت Bit**: هي اختصار لرقم ثنائي binary digit. وفي الشفرة الثنائية هناك قيمتان ممكنتان، عادة هما الصفر وواحد. وفي نظرية المعلومات، الوحدة الأساسية في المعلومات.

**الموسيقى المتولدة عن المخ Brain-generated music BGM**: تقنية موسيقية رائدتها نيروسونيك NeuroSonics Inc. التي تبتكر موسيقى كرد فعل لموجات مخ المستمع. ويبدو أن نظام موجة المخ ذات الارتداد الحيوي تثير استجابة الاسترخاء بتشجيع توليد موجات ألفا في المخ.

**بروتس ١ BRUTUS 1**: برنامج كمبيوتر يبتكر قصصًا خيالية ذات موضوع خداعي، اخترعه سيلمير برنجسجورد، وداف فيراتشي، وفريق مهندسي برامج في معهد رنسلير بوليتيكنيك في نيويورك.

**كرة الباكي Buckyball**: جزيء على هيئة كرة القدم يتكون من عدد كبير من ذرات الكربون. وبسبب شكلها السداسي والخماسي، تم إدراج الجزيئات باسم «كرات-باكي» إشارة إلى تصميمات إنشائها التي تعود إلى ر. باكمنستر فولر.

**القندس المشغول Busy Beaver**: مثال على نوع من الدوال غير المحوسبة، مشكلة لا حل لها في الرياضيات. ولكونها «مشكلة لا حل لها بآلة تورينج» فإن دالة القندس المشغول لا يمكن حسابها بآلة تورينج. لحساب القنفذ المشغول لـ ن، نحصل على كل «حالات ن» لآلات تورينج التي لا تكتب عدد لا متناه من ١ على شريطها. وأعلى عدد من ١ مكتوب على آلة تورينج في هذه المجموعة التي تكتب أعلى عدد من ١ هو القندس المشغول لـ ن. (القندس المشغول تعبير في اللغة العامية يعني الشخص الكادح ــ المترجم).

**وكالة الحرب الحيوية BWA**: انظر Biowarfare Agency.

**بايت Byte**: إدغام لـ«بالثمانية» by eight. مجموعة ثمانية بتات يتم تجميعها معًا لتخزين وحدة واحدة من المعلومات في الكمبيوتر. قد يناظر البايت، مثلًا، حرف من الأبجدية الإنجليزية.

**قرص ذاكرة القراءة فقط CD-ROM**: انظر Compact disc read-only memory.

**الشواش Chaos**: حجم الفوضى أو السلوك غير القابل للتنبؤ به في نظام ما. بالرجوع إلى قانون الزمن والشواش، يشير الشواش إلى كمية الأحداث العشوائية وغير القابلة للتنبؤ ذات الصلة المباشرة بعملية ما.

**نظرية الشواش Chaos theory**: دراسة النماذج والسلوك الناشئ في النظم المعقدة التي تتألف من عدة عناصر غير القابلة للتنبؤ بها (مثل الطقس).

**الكيمياء Chemistry**: تركيب وخواص المواد التي تتألف من جزيئات.

**شريحة Chip**: مجموعة دوائر كهربائية مترابطة تعمل معًا لأداء وظيفة أو عدة وظائف، توجد على رقاقة من مادة شبه موصلة (السليكون كما هو المعهود).

**نظام مغلق Closed system**: كيانات وقوى متفاعلة غير خاضعة لتأثير خارجي (الكون على سبيل المثال). أحد فرضيات القانون الثاني للديناميكا الحرارية أنه في النظام المغلق تزداد الإنتروبيا.

**زراعة قوقعية Cochlear implant**: زراعة لنسيج حي جراحيًا تقوم بتحليل ذبذبة موجات الصوت، وهو دور مماثل لما تقوم به الأذن الداخلية.

**كولوساس Collossus**: أول كمبيوتر إلكتروني، صنعه بريطاني من ألف وخمسمائة صمام راديو خلال الحرب العالمية الثانية. وبشكل متزايد اكتشف كولوساس مع تسع آلات مشابهة تم توصليها على التوازي الشفرات الألمانية المعقدة للمخابرات العسكرية وساهم في نصر القوات المتحالفة في الحرب العالمية الثانية.

**الانفجار التجميعي أو التوافقي combinatorial explosion**: النمو الأسي السريع لعدد الطرق الممكنة لاختيار تجميعات متميزة من العناصر من مجموعة ما مع نمو عناصر هذه المجموعة. في خوارزم ما، النمو السريع في عدد البدائل التي يجب استكشافها خلال القيام ببحث عن حل مشكلة ما.

**الحس السليم Commen sense**: القدرة على تحليل موقف بناء على سياقه، باستخدام ملايين الأجزاء المتكاملة في المعرفة الشائعة. وفي الوقت الراهن ينقص الكمبيوترات الحس السليم. ولاقتباس مارفين منسكي: «قد يستطيع ديب بلو الفوز في الشطرنج، لكنه لا يعرف كيفية الابتعاد عن المطر.»

**قرص ذاكرة القراءة فقط Compact disc read-only memory CD-ROM**: قرص قراءة ليزر يحتوي على نحو نصف مليون بايت من المعلومات. وتشير «القراءة فقط» إلى حقيقة أن المعلومات يمكن قراءتها، لكن لا يتم إلغائها أو تسجيلها على القرص.

**مدرسة الميل إلى التعقيد Complicated-minded school**: استخدام إجراءات معقدة لتقييم الأوراق الطرفية في خوارزم تكراري.

**الحوسبة Computation**: عملية حساب نتيجة ما باستخدام خوارزم (مثل برنامج كمبيوتر) والبيانات المرتبطة به. القدرة على تذكر وحل المشاكل.

**الكمبيوتر Computer**: آلة تطبق خوارزم. يغير الكمبيوتر البيانات تبعًا لمواصفات خوارزم ما. ويسمح الكمبيوتر القابل للبرمجة بتغيير الخوارزم.

**لغة الكمبيوتر Coputer language**: مجموعة قواعد ومواصفات تصف خوارزم أو عملية في الكمبيوتر.

**وسيط حوسبة Computing medium**: الدوائر الكهربائية للحساب القادرة على تطبيق خوارزم أو أكثر. تتضمن الأمثلة الخلايا العصبية البشرية وشرائح السليكون.

**الترابطية Connectionism**: مقاربة إلى دراسة الذكاء وابتكار حلول ذكية للمشاكل. وتقوم الترابطية على تخزين معلومات حل مشاكل كنمط للارتباطات بين عدد بالغ الضخامة من وحدات المعالجة البسيطة تعمل على التوازي.

**الوعي Consciousness**: القدرة على الحصول على خبرة ذاتية. قدرة كائن حي، حيوان، أو كيان، على أن يكون لديه إدراك ذاتي ودراية ذاتية. القدرة على الشعور. والمشكلة المهمة في القرن الحادي والعشرين هي ما إذا كانت الكمبيوترات ستملك وعيًا أم لا (وهو ما يتوافر لدى مبتكريها البشر).

**تمييز الكلام المستمر Continuous speech recognition CSR**: برنامج برمجيات يميِّز ويسجل اللغة الطبيعية.

**الحوسبة البلورية Crystalline computing**: نظام يتم من خلاله تخزين البيانات في بلورة باعتبارها مصور تجسيمي hologram، طوره بروفيسور في ستانفورد هو لامبرتوس هسلنك. وتتطلب طريقة التخزين هذه في الأبعاد الثلاثة مليون ذرة لكل بت وقد تصل إلى تخزين تريليون بت لكل سنتيمتر مكعب. وتشير الحوسبة البلورية أيضًا إلى إمكانية نمو الكمبيوترات كبلورات.

**تمييز الكلام المستمر CSR**: انظر Continuous speech recognition.

**فنان سبراني Cybernetic artist**: برنامج كمبيوتر يستطيع إبداع عمل فني مبتكر في الشعر، أو الفنون المرئية، أو الموسيقى. وسوف يصبح الفنانون السبرانيون بشكل متزايد أمر عادي ابتداء من ٢٠٠٩.

**سائق سبراني Cybernetic chauffeur**: سيارات ذات قيادة ذاتية تستخدم حساسات معينة في الطرق. وقد تمت تجربة السيارات ذاتية القيادة في أواخر العقد الأخير من القرن العشرين، وستصبح التطبيقات على الطرق السريعة الرئيسية ممكنة خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين.

**شاعر سبراني Cybernetic poet**: برنامج كمبيوتر قادر على إبداع شعر مبتكر.

**علم السِّبرانيَّة أو علم أنظمة التحكم Cybernetics**: كلمة سكها نوبيرت وينير لوصف «علم التحكم والاتصال لدى الحيوانات والآلات.» ويقوم علم السبرانية على نظرية أن الكائنات الحية الذكية تتأقلم مع بيئاتها وتصير موضوعية بشكل أساسي بالاستجابة للتغذية الراجعة من الظروف الخارجية المؤثرة.

**قاعدة البيانات Database**: مجموعة منظمة من البيانات يتم تصميمها بخصوص نظام معلومات استرجاعي. ويسمح نظام إدارة قواعد البيانات DBMS بالمراقبة، والتحديث، والتفاعل مع قاعدة البيانات.

**التصويب Debugging**: عملية اكتشاف وتصحيح الأخطاء في عتاد وبرمجيات الكمبيوتر. وسوف تصبح قضية الشوائب والأخطاء في برنامج ما ذات أهمية متزايدة مع

دمج الكمبيوترات في مخ وفسيولوجيا الإنسان طوال القرن الحادي والعشرين. كانت أول «شائبة» bug عثة حقيقية اكتشفها جراس موراي هوبر، أو مبرمج للكمبيوتر مارك ١.

**ديب بلو Deep Blue:** برنامج الكمبيوتر، الذي ابتكرته آي بي إم IBM، والذي هزم جاري كاسباروف، بطل العالم في الشطرنج، في ١٩٩٧.

**حركة تدمير كل النسخ Destroy-all-copies movement:** في ٢٠٩٩، حركة للسماح لأي فرد بتدمير ملف مخه وتدمير كل النسخ الاحتياطية لهذا الملف.

**المسح الإتلافي Destructive scan:** عملية مسح مخ أحد الأشخاص وجهازه العصبي بينما يتم إتلافهما، بقصد استبدالهما بدوائر إلكترونية بقدرة وسرعة وموثوقية أعلى بكثير.

**رقمي Digital:** تغير في خطوات متقطعة. استخدام مجموعات من البتات لتمثيل بيانات في الحوسبة. يقابله القياسي.

**قرص فيديو رقمي (Digital video disc (DVD:** نظام قرص مدمج بالغ الكثافة يستخدم ليزر أكثر تركيزًا من قرص ذاكرة القراءة فقط CD-ROM التقليدي، مع سعة تخزين تصل إلى ٩٫٤ جيجا بايت على قرص ذي وجهين. ولدى قرص الفيديو الرقمي القدرة على الاحتفاظ بفيلم سينمائي كامل.

**مسار عصبي مباشر Direct neural pathway:** اتصال إلكتروني مباشر بالمخ. في ٢٠٢٩، سوف تكون هناك مسارات عصبية مباشرة، مع تقنية اتصال لاسلكية، تصل البشر مباشرة بشبكة الحوسبة العالمية (شبكة ويب web).

**التنوع Diversity:** تشكيلة من الاختيارات يزدهر من خلالها التطور. مصدر مهم لعملية تطورية. المصدر الثاني للتطور هو نظامه الخاص المتزايد.

**الدي إن إيه DNA:** الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين، لبنات البناء لأنواع الحياة العضوية. في القرن الحادي والعشرين سوف تقوم أشكال الحياة الذكية على تقنيات حوسبة وهندسة نانوية جديدة.

**حوسبة الدي إن إيه DNA computing**: نوع من الحوسبة رائده ليونارد أدلمان، حيث يتم استخدام جزيئات الدي إن إيه لحل مشاكل رياضية معقدة. تسمح كمبيوترات الدي إن إيه بإجراء تريليونات من عمليات الحوسبة في نفس الوقت.

**قرص فيديو رقمي DVD**: انظر Digital video disc.

**نظرية النسبية لأينشتاين Einstein's theory of relativity**: تشير إلى نظريتين لأينشتاين. تفترض نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين أن سرعة الضوء هي أكبر سرعة يمكننا أن ننقل المعلومات من بواسطتها. وتتعامل النظرية العامة للنسبية لأينشتاين مع تأثيرات الجاذبية على هندسة المكان. وتتضمن الصيغة $E = mc^2$ (الطاقة تساوي الكتلة في مربع سرعة الضوء)، وهي أساس الطاقة النووية.

**EMI**: انظر التجارب على الذكاء الموسيقي.

**التصفير Encryption**: تشفير المعلومات بحيث لا يفهم الرسالة سوى المستقبل المعني بفك شفرتها. والخصوصية الجيدة البارعة (Pretty Good Privacy PGP) مثال على التصفير.

**الإنتروبيا Entropy**: في الديناميكا الحرارية مقياس لتشوش (حركة لا يمكن التنبؤ بها) الجسيمات والطاقة غير المتاحة في نظام فيزيائي من مركبات كثيرة. وفي سياقات أخرى، فإنها كلمة تُستخدم في وصف مدى العشوائية والفوضى في نظام ما.

**التطور Evolution**: عملية تتنافس من خلالها كيانات مختلفة (تسمى كائنات حية أحيانًا) حول موارد محدودة في بيئة ما، حيث الكائنات الحية الأكثر نجاحًا تستطيع أن تبقى وتتوالد (إلى حد أكبر) على هيئة أجيال لاحقة. وعبر العديد من هذه الأجيال، تصبح الكائنات الحية أكثر تأقلمًا مع بقائها. وعبر الأجيال، يزداد نظام تصميم الكائنات الحية (ملائمة المعلومات لهدف ما)، مع بقاء الهدف. في «خوارزم تطوري» (انظر فيما يلي)، قد يكون الهدف محددًا باكتشاف حل لمشكلة معقدة. ويشير التطور أيضًا إلى نظرية تقول بأن كل شكل حياة على الأرض له أصل في شكل أقدم.

**خوارزم تطور Evolutionary algorithm**: نظم حل المشاكل المعتمدة على الكمبيوتر والتي تستخدم نماذج حوسبة لآليات التطور كعناصر مهمة في تصميمها.

**تجارب في الذكاء الموسيقي Experiments in Musical Intelligence (EMI):** برنامج كمبيوتر يشكل أعداد تنافسية موسيقية. ابتكرها المؤلف الموسيقي ديفيد كوب.

**النظام الخبير Expert system:** برنامج كمبيوتر، يعتمد على تقنيات ذكاء اصطناعي مختلفة، تحل مشكلة ما باستخدام قاعدة بيانات لمعرفة خبير بموضوع ما تحت البحث. وهو أيضًا نظام يسمح بوجود مثل هذه القاعدة للبيانات ليجعلها متاحة لمستخدم غير خبير. وهو فرع من مجال الذكاء الاصطناعي.

**النموُ الأسي Exponenial growth:** يتسم بنمو حيث يزداد المقدار بمضاعفة ثابتة عبر الزمن.

**نزعة أسية Exponential trend:** أي نزعة تُظهر نموًا أسيًا (مثل النزعة الأسية في النمو السكاني).

**هندسة الفيمتو Femtoengineering:** في ٢٠٩٩، تقنية حسابية مقترحة على مقياس فيمتومتر (جزء من ألف تريليون متر). تتطلب هندسة الفيمتو السيطرة والتوجيه لآليات داخل كوارك. تناقش مولي خطط مقترحات هندسة الفيمتو في ٢٠٩٩ مع المؤلف.

**فرقة بيان فلورنسا Florence Manifesto Brigade:** في ٢٠٢٩، جماعة محطمي الآلات الجدد تقوم على «بيان فلورنسا» الذي أصدره تيودور كازنسكي من السجن. يعارض أعضاء الفرقة التكنولوجيا في البداية من خلال وسائل غير عنيفة.

**عرض سرب ضباب Fog swarm projection:** في منتصف ونهاية القرن الحادي والعشرين، تقنية تتيح عروضًا للأشياء والكيانات الفيزيائية من خلال سلوك تريليونات جزيئات الضباب الصغيرة (فوجليت). والظهور الفيزيائي لمولي أمام المؤلف في ٢٠٩٩ يتم توليده بعرض سرب ضباب. انظر Foglet، وUtility fog.

**فوجليت Foglet:** روبوت افتراضي يتكون من جهاز في حجم الخلية البشرية مع اثنتي عشر ذراعًا تشير إلى كل الاتجاهات. في نهاية الأذرع مقابض تسمح لروبوتات فوجليت بأن تمسك بعضها ببعض بإحكام لتشكيل بنى أكبر. والنانوبوتات هذه ذكية ويمكنها توحيد قدراتها الحسابية بعضها مع بعض لتكوين ذكاء موزع. وروبوتات فوجليت هي من بنات أفكار ج. ستورس هال، عالم كمبيوترات في جامعة راتجرس.

**الإرادة الحرة Free will**: سلوك هادف واتخاذ قرار. منذ زمن أفلاطون استكشف الفلاسفة متناقضة الإرادة الحرة، خاصة عندما يتم تطبيقها على الآلات. وخلال القرن المقبل، ستكون من القضايا المهمة ما إذا كانت الآلات سوف تتطور إلى كائنات ذات وعي وإرادة حرة أم لا. وأحد القضايا الفلسفية الرئيسية تدور حول كيف ستكون الإرادة الحرة ممكنة لو أن الأحداث كانت نتيجة تفاعل الجسيمات القابلة للتنبؤ به — أو غير القابلة للتنبؤ. إذا اعتبرنا أن تفاعل الجسيمات غير قابل للتنبؤ به فلن يحل ذلك متناقضة الإرادة الحرة لأنه ليس هناك شيء هادف في السلوك العشوائي.

**برنامج حل المشكلة العامة General Problem Solver (GPS)**: إجراء وبرنامج طوره ألين نويل، و ج. س. شاو، وهربرت سيمون. يصل GPS إلى هدف ما باستخدام بحث تكراري وبتطبيق قواعد لتكوين مترادفات في كل فرع في التمدد التكراري للمتتاليات الممكنة. ويتخذ GPS إجراءًا لقياس «البعد» عن الهدف.

**خوارزم جيني Genetic algorithm**: نموذج تعلم آلة يستخلص سلوكها من استعارة من آليات التطور في الطبيعة. في داخل برنامج، هناك مجموعة من «الأفراد» المقلَّدين تم ابتكارها ويحدث لها عملية تطور في بيئة تنافسية ناتجة عن المحاكاة.

**برمجة جينية Genetic programming**: طريقة ابتكار برنامج كمبيوتر باستخدام خوارزم جيني أو تطوري. انظر الخوارزم التطوري والخوارزم الجيني.

**حيز الرب God spot**: موضع بالغ الصغر من الخلايا العصبية في الفص الأمامي من المخ يبدو أنه ينشط خلال الممارسات الدينية. ولقد اكتشف علماء أعصاب في جامعة كاليفورنيا حيز الرب خلال دراسة على مرضى بالصرع يعانون تجارب غامضة خلال نوبات الصرع المفاجئة.

**مُبَرهَنة جودل عن عدم الاكتمال Godel's incompleteness theorem**: مبرهنة افترضها كورت جودل، عالم الرياضيات التشيكي، تقول بأنه في نظام رياضي على درجة كافية من القوة لتكوين الأرقام الطبيعية، يوجد بشكل لا مهرب منه موضوعات لا يمكن إثباتها ولا دحضها.

**العقدة الغوردية Gordian knot**: مشكلة معقدة، ولا يمكن حلها عمليًّا. إشارة إلى عقدة ربطها جورديا س، ولن يفكها سوى حاكم آسيا في المستقبل. وتملص الإسكندر الكبير من مأزق حل العقدة بقطعها بسيفه.

**GPS**: انظر برنامج حل مشكلة عامة.

**تشريع السلف Grandfather legislation**: اعتبارًا من ٢٠٩٩، وهو التشريع الذي يحمي حقوق الموش MOSHs (في غالب الأحيان بشر ذوي ركيزة أصلية mostly original substrate humans) ويقر بصحة جذور كائنات القرن الحادي والعشرين. انظر MOSH.

**تداخل لمسي Haptic interface**: في نظم الواقع الافتراضي، عبارة عن محفزات حسية تتيح للمستخدم إحساس باللمس (متضمنًا الإحساس بالضغط ودرجة الحرارة).

**مبحث اللمس Haptics**: تطوير نظم تسمح للشخص بممارسة شعور باللمس في الواقع الافتراضي. انظر التداخل اللمسي.

**مُصَوِّر تجسيمي Hologram**: نموذج تداخل، يستخدم غالبًا وسيطًا فوتوغرافيًّا، يتم تشفيره بحزم ليزر وقراءته بواسطة حزم ليزر منخفضة القوة. ويمكن لنموذج التداخل هذا إعادة إنشاء صورة في الأبعاد الثلاثة. وأحد الخواص المهمة للمصور التجسيمي أن المعلومات يتم توزيعها على كل المصور التجسيمي. إذا قطعنا المصور التجسيمي إلى النصف، فإن كلا النصفين سيكون عليه الصورة كاملة، ووضوح الصورة على نصف واحد فقط. وليس لإحداث خدش في المصور التجسيمي أي تأثير ملحوظ على الصورة. ويُنظر إلى الذاكرة البشرية بأنه يتم توزيعها بطريقة مشابهة.

**الكأس المقدسة Holy Grail**: أي هدف يتطلب بحثًا طويلًا وشاقًّا. في معتقدات العصور الوسطى، تشير الكأس إلى الطبق الذي استخدمه المسيح في العشاء الأخير. وأصبحت الكأس المقدسة فيما بعد هدف رحلات البحث التي يقوم بها الفرسان.

**الإنسان المنتصب القامة *Homo erectus***: «الإنسان المنتصب.» ظهر الإنسان المنتصب القامة في إفريقيا منذ نحو ١,٦ مليون سنة واكتشف استخدام النار، والملابس، واللغة، والسلاح.

**الإنسان الماهر في الأعمال اليدوية *Homo habilis***: (إنسان بارع في استخدام اليدين). سلف مباشر يعود إلى الإنسان المنتصب القامة ثم أخيرًا إلى الإنسان المعاصر. وعاش الإنسان الماهر في الأعمال اليدوية منذ نحو ١,٦ إلى ٢ مليون سنة. وكانت فصائل هذا الإنسان مختلفة عن فصائل الإنسان الأخرى بأن حجم مخها كان أكبر، وكان يتغذى على كلًا من اللحم والنباتات، وابتكر الأدوات واستخدمها في مراحل نموه الأولى.

**الإنسان العاقل *Homo sapiens***: الجنس البشري الذي ربما يكون قد ظهر منذ ٤٠٠ ألف سنة. ويشبه الإنسان العاقل الثدييات من رتبة الرئيسيات المتطورة فيما يتعلق بميراثها الجيني ويتميز بابتكاره للتقنية، بما في ذلك الفن واللغة.

**الإنسان العاقل النياندرتالي Homo sapiens Neanderthal (*neanderthalensis*)**: هو تقسيم جغرافي للإنسان العاقل. ويُعتقد بأن الإنسان العاقل النياندرتالي تطور عن الإنسان منتصب القامة منذ نحو ١٠٠ ألف سنة في أوروبا والشرق الأوسط. رعى هذا الإنسان مرتفع الذكاء وطور حضارة تضمنت طقوسًا دينية جنائزية مستفيضة، وكانوا يدفنون موتاهم بالحلي، ويعتنون بالمريض، ويصنعون الأدوات للاستخدام المنزلي وللحماية. واختفى الإنسان العاقل النياندرتالي منذ نحو ٣٥ إلى ٤٠ ألف سنة، وفي كل الترجيحات نتيجة لصراع عنيف مع الإنسان المعاصر العاقل (التقسيم الجغرافي للإنسان المعاصر).

**الإنسان المعاصر العاقل *Homo sapiens sapiens***: نوع من التقسيم الجغرافي أيضًا للإنسان العاقل الذي ظهر في إفريقيا منذ نحو ٩٠ ألف سنة مضت. والبشر المعاصرون هم السلالة المباشرة من هذا الإنسان.

**مشروع الجينوم البشري Human Genome Project**: برنامج بحث دولي بهدف جمع مصدر للخرائط الجينية وتتالي معلومات الدي إن إيه الذي سيتيح معلومات تفصيلية حول بنية وتنظيم وصفات الدي إن إيه للبشر والحيوانات الأخرى. بدأ المشروع في منتصف الثمانينيات ويتوقع أن يكتمل نحو عام ٢٠٠٥.

**العالِم الأحمق Idiot savant**: نظام أو شخص مرتفع المهارة في نطاق مهمة محدودة لكن ينقصه السياق وهو خلاف ذلك قليل القيمة في نطاقات أكثر عمومية في الأداء الذكي. والتعبير مأخوذ من طب النفس، حيث يشير إلى شخص يظهر متقد الذكاء في نطاق محدود جدًّا لكنه متخلف في الحس السليم، والمعرفة، والكفاءة. على سبيل المثال، يستطيع

بعض العلماء الحمقى البشريين ضرب أعداد بالغة الضخامة في ذهنهم، أو تذكر كتاب مليء بأرقام التليفون. وبرنامج ديب بلو مثال على نظام عالم أحمق.

**معالجة الصورة Image processing:** معالجة البيانات التي تمثل الصور، أو التمثيل التصويري على شاشة، تتكون من بكسلات. استخدام برنامج كمبيوتر لتقوية أو تعديل صورة.

**مرتجل Improvisor:** برنامج كمبيوتر يُبدع موسيقى مبتكرة، أعده بول هودجسون، عازف سكسوفون الجاز البريطاني. يمكن للمرتجل أن يحاكي أساليب من باخ إلى أعمال الجاز للمميزين لويس أرمسترونج وتشارلي باركر.

**الثورة الاصطناعية Industrial Revolution:** الفترة الزمنية في التاريخ في أواخر القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر التي شهدت تطورات متسارعة في التكنولوجيا التي أتاحت الإنتاج بالجملة للسلع والمواد.

**المعلومات Information:** تتابع في البيانات تكون هادفة في عملية ما، مثل شفرة الدي إن إيه لدى كائن حي أو بتات في برنامج كمبيوتر. تتعارض المعلومات مع «الضجيج» noise الذي يعتبر تتابعًا عشوائيًا. ومع ذلك، لا يعتبر الضجيج أو المعلومات قابلة للتنبؤ. والضجيج في صميمه غير قابل للتنبؤ لكنه لا يحمل معلومات. المعلومات أيضًا غير قابلة للتنبؤ، أي إننا لا نستطيع التنبؤ بمعلومات المستقبل من معلومات الماضي. لو أننا نستطيع بشكل كامل التنبؤ ببيانات المستقبل من بيانات الماضي، ستكف بيانات المستقبل هذه عن أن تكون معلومات.

**نظرية المعلومات Information Theory:** نظرية رياضية تتعلق بالفرق بين المعلومات والضجيج، وقدرة قنوات الاتصالات على حمل المعلومات.

**الذكاء Intelligence:** القدرة على الاستخدام الأمثل لموارد محدودة — بما في ذلك الزمن — للوصول إلى مجموعة أهداف (التي قد تتضمن البقاء، الاتصال، حل المشاكل، التعرف على النماذج، أداء المهارات). قد تكون منتجات الذكاء البراعة، أو العبقرية، أو نفاذ البصيرة، أو الدقة العلمية. يعرّف ر. و. يونج الذكاء بأنه «الملكة العقلية التي بواسطتها يتم إدراك النظام في موقف كان يعتبر سابقًا في حالة فوضى.»

**مندوب ذكي Intelligent agent**: برنامج برمجيات تلقائي يؤدي وظيفة بنفسه، مثل البحث على شبكة المعلومات العالمية للحصول على معلومات لصالح شخص تقوم على معيار محدد.

**وظيفة ذكية Intelligent function**: وظيفة تتطلب المزيد من الذكاء لحصر الخلافات المتزايدة. والقندس المشغول مثال للوظيفة الذكية.

**خطة مقترحة لحصد حوسبة الإنترنت Internet computation harvesting proposal**: خطة مقترحة لحصد مصادر حسابية غير مستعملة في الكمبيوترات الشخصية على الإنترنت وبتلك الوسيلة يتم ابتكار كمبيوترات فائقة موازية. كان هناك ما يكفي من «الحسابات» غير المستخدمة على الإنترنت في ١٩٩٨ لإنشاء كمبيوترات بقدرة المخ البشري، على الأقل فيما يتعلق بمقدرة العتاد.

**مفصل المنحنى Knee of the curve**: الفترة الزمنية التي تبدأ خلالها الطبيعة الأسية لمنحنى الزمن في التغير فجأة. يتباطأ النمو الأسي دون نمو ظاهر لفترة زمنية طويلة ثم يبدو منطلقًا بعنف فجأة. ويحدث ذلك الآن في مقدرة الكمبيوترات.

**هندسة المعرفة Knowledge engineering**: فن تصميم وإنشاء المنظومات الخبيرة. وبشكل خاص، جمع المعلومات والقواعد المساعدة على حل المشاكل من خبراء بشريين في نطاق تخصصهم وتجميعها في قاعدة معرفة أو نظام خبير.

**قاعدة المعرفة Knowledge principle**: القاعدة التي تؤكد على أهمية الدور الذي تلعبه المعرفة في أنواع كثيرة من الأنشطة الذكية. وتقول إن نظام ما يظهر ذكيًا جزيئيًّا بسبب المعرفة المحددة المتعلقة بمهمة يتضمنها.

**عرض المعرفة Knowledge representation**: نظام لتنظيم المعرفة البشرية في مجال ما على هيئة بنية بيانات ذات مرونة كافية تسمح بالتعبير عن الحقائق، والقواعد، والعلاقات.

**قانون العائدات المتسارعة Law of Accelerating Returns**: مع زيادة النظام الأسي، يتسارع الزمن أسيًا (أي إن الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة يصبح أقصر بمرور الزمن).

**قانون زيادة الشواش Law of Increasing Chaos:** مع الزيادة الأسية للشواش، يتباطأ الزمن أسيًّا (أي إن الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة تصبح أطول بمرور الزمن).

**قانون الزمن والشواش Law of Time and Chaos:** في عملية ما، تتمدد الفترة الزمنية بين الأحداث البارزة (أي الأحداث التي تغير طبيعة العملية، أو تؤثر بشدة على مستقبل العملية) أو تتقلص مع كمية الشواش.

**قوانين الديناميكا الحرارية Laws of thermodynamics:** يُطلق أيضًا على القانون الأول للديناميكا الحرارية (الذي افترضه هرمان فون هلمهولتز في ١٨٤٧)، قانون حفظ الطاقة، ويقول أن الكمية الكلية للطاقة في الكون ثابتة. قد تغير عملية ما شكل الطاقة، لكن أي نظام مغلق لا يفقد الطاقة. ويمكننا استخدام هذه المعرفة لتحديد كمية الطاقة في نظام ما، والكمية المفقودة كحرارة، وكفاءة النظام.

والقانون الثاني في الديناميكا الحرارية (الذي أفصح عنه رادولف كلوزياس في ١٨٥٠) معروف أيضًا باسم زيادة الإنتروبيا، ويقول إن الإنتروبيا (فوضى الجسيمات) في الكون لا تنقص. ومع زيادة الفوضى في الكون، تتحول الطاقة إلى أشكال أقل قابلية للاستخدام. بذلك، فإن كفاءة أي عملية ستكون دائمًا أقل من ١٠٠ بالمائة.

والقانون الثالث في الديناميكا الحرارية (الذي وصفه فالتر هرمان نيرست في ١٩٠٦، الذي يقوم على فكرة درجة حرارة الصفر المطلق التي أفصح عنها أولًا بارون كلفن في ١٨٤٨)، معروف أيضًا باسم قانون الصفر المطلق، وهو يخبرنا بأن الحركة الجزيئية تتوقف عند درجة حرارة تسمى الصفر المطلق، أو صفر كلفن (-٢٧٣° مئوية). وحيث إن درجة الحرارة مقياس للحركة الجزيئية، فإن درجة حرارة الصفر المطلق يمكن الاقتراب منها، لكن لا يمكن الوصول إليها أبدًا.

**الحياة Life:** قدرة الكيانات (عادة كائنات حية) على التكاثر إلى أجيال مستقبلية. أنماط المادة والطاقة التي يمكنها أن تديم وجودها وتبقى.

**ليسب (معالجة القوائم) LISP (list processing):** لغة كمبيوتر تفسيرية تم تطويرها في أواخر الخمسينيات في MIT بواسطة جون مكارثي وتم استخدامها لمعالجة الأنواع الرمزية من البنى والبيانات. والبنية الأساسية للبيانات هي القائمة، تتالي منظم محدود من الرموز. ولأن البرنامج المكتوب بليسب يتم التعبير عنه هو نفسه كقائمة قوائم، فإن

ليسب يمنح نفسه لتكرار معقد، ومعالجة الرمز، والشفرة ذاتية التعديل. وتم استخدامه على نطاق واسع لبرمجة الذكاء الاصطناعي، رغم أنه أقل انتشارًا في الوقت الحالي مما كان عليه في السبعينيات والثمانينيات.

**الوضعية المنطقية Logical positivism**: مدرسة فلسفية في القرن العشرين في الفكر والتي استلهمتها «رسالة المنطق الفلسفي» Trctatus Logico-Philosophicus للودفيج فتجنشتين. وتبعًا للوضعية المنطقية، فإن كل العبارات ذات المعنى يمكن إثباتها بالملاحظة والتجربة أو تكون «تحليلية» (يمكن استنتاجها من الملاحظات).

**محطمو الآلات Luddite**: أحد مجموعات العمال الإنجليز في بداية القرن التاسع عشر الذين دمروا معدات آلية موفرة للجهد في احتجاج. وكان محطمو الآلات أول مجموعة منظمة لمعارضة تقنية التزود بالآلات في الثورة الاصطناعية. وفي الوقت الراهن، يعتبر محطمي الآلات رمزًا لمعارضة التكنولوجيا.

**التصوير بالرنين المغناطيسي Magnetic resonance imaging**: تقنية تشخيص غير إتلافية تنتج صورًا محوسبة لأنسجة الجسم وتقوم على الرنين المغناطيسي النووي للذرات داخل الجسم الناتج عن تطبيق موجات الراديوية. يتم وضع الشخص في مجال مغناطيسي أقوى بثلاثين ألف مرة عن المجال المغناطيسي العادي على الأرض. ويتم تحفيز جسم الشخص بواسطة الموجات الراديوية، ويستجيب الجسم ببثه الكهرومغناطيسي الخاص، الذي يتم رصده ومعالجته بكمبيوتر لتكوين خريطة ذات أبعاد ثلاثة عالية الوضوح للسمات الداخلية البارزة مثل الأوعية الدموية.

**الشبكات العصبية المتوازية بكثافة Massively parallel neural nets**: شبكة عصبية مكونة من كثير من وحدات المعالجة المتوازية. وتكون بشكل عام، كمبيوترًا مستقلًا ومتخصصًا يطبق كل نموذج عصبي.

**المعالج الدقيق Microprocessor**: دائرة كهربائية مدمجة توجد على شريحة مفردة تحتوي على وحدة معالجة مركزية كاملة CPU لكمبيوتر ما.

**ملايين التعليمات في الثانية Millions of Instructions per Second**: طريقة لقياس سرعة كمبيوتر بالنسبة لعدد ملايين التعليمات التي ينجزها الكمبيوتر في ثانية واحدة. والأمر الواحد خطوة في برنامج كمبيوتر كما يعبر عنه في لغة آلة الكمبيوتر.

**مشكلة العقل-الجسم Mind-body problem:** السؤال الفلسفي: كيف تظهر الهوية غير المادية للعقل من هوية مادية للمخ؟ هل المشاعر والممارسات الذاتية الأخرى تنتج عن معالجة المخ المادي؟ ومن باب التوسع، هل الآلات التي تحاكي عمليات المخ البشري لها ممارسات ذاتية؟ وأيضًا، كيف تبذل الهوية غير المادية للمخ مجهودًا للتحكم في الواقع المادي للجسم؟

**تحفيز العقل Mind trigger:** تحفيز منطقة من المخ تثير شعورًا (أو خلاف ذلك) يتم الحصول عليه عادة من تجربة جسدية أو عقلية.

**إجراء أو فرضية تصغير الأكبر Minimax procedure or theorem:** تقنية أساسية يتم استخدامها في برامج ألعاب التسلية. يتم القيام بتوسع في شجرة الحركات الممكنة والحركات المضادة (حركات من الخصم). تقدير «الأوراق» الطرفية في الشجرة والذي يقلل من قدرة الخصم على الفوز ويرفع من قدرة البرنامج على الفوز، يتم إعادته إلى أغصان الشجرة.

**MIPS:** انظر ملايين التعليمات في الثانية.

**نظام المهمة المحفوفة بالخطر Mission critical system:** برنامج برمجيات يتحكم في عملية يعتمد عليها الناس إلى حد بعيد. وتتضمن أمثلة عن برمجيات المهمة المحفوفة بالمخاطر نظم دعم الحياة في المستشفيات، تجهيزات الجراحة الآلية، الطيران بالربان الآلي ونظم الهبوط، والنظم الأخرى المعتمدة على البرمجيات التي تؤثر على سلامة شخص أو منظمة.

**الكمبيوتر الجزيئي Molecular computer:** كمبيوتر يعتمد على بوابات منطقية تقوم على مبادئ الميكانيكا الجزيئية (كمقابل لمبادئ الإلكترونيات) بتنظيمات مناسبة للجزيئات. وحيث إن حجم كل بوابة منطقة (الأداة التي يمكنها القيام بعملية منطقية) عبارة عن جزيء واحد أو جزيئين، يمكن أن تكون النتيجة كمبيوتر بحجم ميكروسكوبي. والحدود أمام الكمبيوترات الجزيئية تنشأ فقط من فيزياء الذرات. ويمكن أن تكون الكمبيوترات الجزيئية متوازية بشكل ضخم بأن يكون لها حسابات متوازية تؤديها تريليونات الجزيئات في نفس الوقت. وتم عرض كمبيوترات جزيئية باستخدام جزيء الدي إن إيه.

**قانون مور Moore's Law:** افترضه أولًا الرئيس التنفيذي السابق لإنتيل جوردون مور في منتصف الستينيات، ويعتبر قانون مور تنبؤ بأن حجم كل ترانزستور في شريحة الدائرة الكهربائية المدمجة سوف يصبح أصغر بنسبة ٥٠ بالمائة كل أربعة وعشرين شهرًا. والنتيجة هي قوة النمو الأسية للكمبيوترات المعتمدة على الدائرة المتكاملة عبر الزمن. ويضاعف قانون مور عدد العناصر على الشريحة وكذلك سرعة كل عنصر. ويضاعف كلًا من هذين الجانبين قوة الحوسبة، من أجل رفع قوة الحوسبة بفعالية أربعة أضعاف كل أربعة وعشرين شهرًا.

**الموش MOSH:** في ٢٠٩٩، الأحرف الأولى لبشر (في معظمهم بشر ذوي ركيزة أصلية mostly original substrate humans). في النصف الأخير من القرن الحادي والعشرين، يشار إلى الكائنات البشرية التي لا تزال تستخدم العصبونات الخلقية القائمة على الكربون وعدم التعزيز بالزراعات العصبية بأنها MOSH. وفي ٢٠٩٩، تشير مولي إلى الكاتب باعتباره موش MOSH.

**فن الموش MOSH art:** في ٢٠٩٩، الفن (الذي يتم إبداعه عادة بواسطة البشر المعزَّزين) الذي يمكن للموش نظريًا إدراك قيمته، رغم أن فن الموش لا يشارك فيه الموش دائمًا.

**موسيقى الموش MOSH music:** في ٢٠٩٩، فن الموش في شكل موسيقى.

**الموشية Moshism:** في ٢٠٩٩، مصطلح قديم متجذر في أسلوب حياة الموش، قبل مجئ البشر المعزَّزين بالزراعات العصبية وتحميل أمخاخ بشرية على ركائز حسابية. مثال على **الموشية:** كلمة أبحاث التي تشير إلى بنيات المعرفة التي تمثل قوام عمل فكري.

**MRI:** انظر التصوير بالرنين المغناطيسي Magnetic resonance imaging.

**مايسين MYCIN:** نظام خبير ناجح، تم تطويره في جامعة ستانفورد في منتصف السبعينيات، مصمم من أجل مساعدة الممارسين في المجال الطبي في وصف مضاد حيوي مناسب بتحديد الهوية الصحيحة لأمراض الدم.

**نانوبوت Nanobot:** روبوت نانوي (روبوت تم تصنيعه باستخدام تقنية النانو). يتطلب النانوبوت ذاتي التكاثر القابلية للتحرك، والذكاء، والقدرة على معالجة بيئته. ويحتاج أيضًا إلى معرفة متى يتوقف عن تكاثره الذاتي. في ٢٠٢٩، سوف تدور روبوتات نانوبوت خلال مجرى الدم في الجسم البشري لتشخيص الإصابة بالأمراض.

**سرب نانوبوت Nanobot swarm**: في النصف الأخير من القرن الحادي والعشرين، سرب يتكون من تريليونات نانوبوت. يمكن لسرب نانوبوت أن يتخذ أي شكل بسرعة. يمكن لسرب نانوبوت أن يعرض صورًا مرئية، وأصواتًا، ويضغط على أي محيط خارجي لمجموعة أشياء، بما في ذلك البشر. ويمكن لأسراب نانوبوت أيضًا تجميع قدراتها الحسابية لمحاكاة ذكاء البشر والكيانات والعمليات الأخرى الذكية. سرب نانوبوت لديه القدرة بشكل فعال لابتكار بيئات افتراضية في البيئة الواقعية.

**الهندسة النانومترية (النانوية) Nanoengineering**: تصميم وصناعة منتجات وأشياء أخرى قائمة على معالجة الذرات والجزيئات، وبناء ماكينات ذرة بذرة. وتشير كلمة «نانو» إلى جزء من مليار من المتر، وهو عرض خمس ذرات كربون. انظر Picoengineering وFemtoengineering.

**مولِّد المرض النانوي Nanopathogen**: نانوبوت ذاتي التكاثر يتكاثر بكثافة كبيرة، ربما بلا حدود، مسببًا التدمير لكلًا من المادة العضوية وغير العضوية.

**وحدة استكشاف نانوية Nanopatrol**: في ٢٠٢٩، نانبوت في مجرى الدم لفحص إصابات الجسم بمولِّد أمراض بيولوجي وعمليات المرض الأخرى.

**تقنية نانوية Nanotechnology**: قوام تقنية حيث يتم ابتكار المنتجات والأشياء الأخرى من خلال معالجة الذرات والجزيئات. وتشير كلمة نانو إلى جزء من مليار من المتر، وهو عرض خمس ذرات كربون.

**أنابيب نانوية Nanotubes**: جزيئات كربون ممدودة تشبه الأنابيب الطويلة ومتكونة من نفس الأنماط خماسية الأسطح لذرات الكربون مثل كرات الباكي. يمكن للأنابيب النانوية القيام بالوظائف الإلكترونية في العناصر المعتمدة على السليكون. والأنابيب النانوية بالغة الصغر، وبذلك تتيح كثافات بالغة الارتفاع للحوسبة. ومن المرجح أن تكون الأنابيب النانوية تقنية تستمر في إتاحة نمو أسي للحوسبة عندما ينقضي عمر قانون مور للدوائر المدمجة في عام ٢٠٢٠. والأنابيب النانوية بالغة القوة ومقاومة للحرارة إلى حد بعيد، بذلك تتيح ابتكار دوائر كهربائية في الأبعاد الثلاثة.

**اللغة الطبيعية Natural language**: اللغة التي يتكلم بها البشر ويكتبون بها باستخدام لغة بشرية مثل الإنجليزية (في مقابل النحو الصارم للغة الكمبيوتر). ويتحكم في اللغة

الطبيعية قواعد وأعراف معقدة ومبهمة إلى حد ما مما يجعلها فوق ذلك غامضة عادة في النحو والمعنى.

**نياندرتالي Neanderthal**: انظر الإنسان العاقل النياندرتالي *Homo sapiens Neanderthal*.

**الكمبيوتر العصبي Neural computer**: كمبيوتر ذو عتاد أقرب ما يكون من الكمال لاستخدام نموذج الشبكة العصبية. الكمبيوتر العصبي مصمم لمحاكاة عدد بالغ الضخامة من نماذج العصبونات البشرية.

**حساب الارتباط العصبي Neural connection calculation**: في الشبكة العصبية، تعبير يشير إلى الحساب الأولي لضرب «قوة» ارتباط عصبي في المدخل إلى هذا الارتباط (والذي قد يكون إما الخرج لعصبون آخر أو مُدخل أولي للمنظومة) ثم إضافة هذا الناتج إلى الإجمالي المتجمع من هذه النتائج من الارتباطات الأخرى بهذا العصبون. وهذه العملية تكرارية إلى حد بعيد، لذلك فإن الكمبيوترات العصبية أقرب ما يكون إلى الكمال في القيام بها.

**الزراعة العصبية Neural implant**: زراعة مخ تحفز القدرة الحسية لدى الشخص، أو الذاكرة أو الذكاء. ستصبح الزراعات العصبية موجودة في كل مكان في القرن الحادي والعشرين.

**الشبكة العصبية Neural network**: محاكاة كمبيوتر للعصبونات البشرية. منظومة (يتم تنفيذها في برمجيات أو عتاد) مقصود منها تقليد بنية الحساب في العصبونات في المخ البشري.

**عصبون أو خلية عصبية Neuron**: خلية معالجة المعلومات في الجهاز العصبي المركزي. هناك ما يقدر بنحو ١٠٠ مليار عصبون في المخ البشري.

**الضجيج Noise**: تتابع عشوائي للبيانات. ولأن التتابع عشوائي وبدون معنى، لا يحمل الضجيج أي معلومات. ويتناقض مع المعلومات.

**تجربة موضوعية Objective experience**: تجربة كيان يتم رصدها بواسطة كيان آخر، أو جهاز قياس.

**منظومة تشغيل Operating system**: برنامج برمجيات يشرف على ويتيح مجموعة من الخدمات لبرامج تطبيق، بما في ذلك تداخل المستخدمين لتسهيلات وإدارة تجهيزات المدخل والمخرج والذاكرة.

**التعرف على الرموز الضوئية Optical character recognition (OCR)**: عملية تمسح آلة من خلالها، وتتعرف على رموز مطبوعة (وربما مكتوبة بخط اليد) وتحل شفرتها على هيئة رقمية.

**كمبيوتر ضوئي Optical computer**: كمبيوتر يعالج المعلومات المشفرة في أنماط أشعة الضوء، وهو ما يختلف عن الكمبيوترات المعاصرة التقليدية، حيث يتم تمثيل المعلومات في دوائر إلكترونية أو تشفيرها على أسطح مغناطيسية. وكل تيار من الفوتونات يمكن أن يمثل تتالي مستقل من البيانات، وبذلك يتيح حوسبة متوازية بالغة الكثافة.

**التصوير الضوئي Optical imaging**: تقنية تصوير مخ تشبه MRI لكنها تعد بإتاحة وضوح أعلى في التصوير. ويقوم التصوير الضوئي على التفاعل بين النشاط الكهربائي في العصبونات وتدفق الدم في الأوعية الشعرية الدموية التي تغذي العصبونات.

**نظام Order**: معلومات تلائم الهدف. معيار النظام هو معيار مدى نجاح المعلومات في التلاؤم مع الهدف. في تطور أشكال الحياة، يكون الهدف هو البقاء. وفي خوارزم تطوري (برنامج كمبيوتر يحاكي التطور لحل مشكلة)، يكون الهدف حل المشكلة. ولا يعنى الحصول على المزيد من المعلومات، أو المزيد من التعقد، بالضرورة الحصول على تلاؤم أفضل. وقد يتطلب الحل الأفضل لهدف ما ــ نظام أعلى ــ إما معلومات أكثر أو أقل، وإما تعقد أكثر أو أقل. ومع ذلك، أوضح التطور أن الميل العام نحو مزيد من النظام لا ينتج بشكل عام تعقد أكبر.

**النموذج الإرشادي Paradigm**: إطار، أو نموذج، أو مراقبة عامة لحل مشكلة.

**المعالجة المتوازية Parallel Processing**: يشير إلى كمبيوترات تستخدم معالجات متعددة تعمل معًا في نفس الوقت مقابل وحدة معالجة واحدة. (قارن مع الكمبيوتر التسلسلي).

**التعرف على النمط Pattern recognition:** التعرف على الأنماط بهدف تحديد، أو تصنيف، أو تبويب، مدخلات معقدة. أمثلة للمدخلات التي تتضمن الصور مثل السمات والأوجه المطبوعة، وأصوات مثل لغة الحديث.

**آلة سريعة الفهم Perceptron:** في أواخر الستينيات وفي السبعينيات، آلة تم إنشاؤها من نماذج رياضية للعصبونات البشرية. وكان نجاح هذه الآلات المبكرة متواضعًا في مهام تمييز النمط مثل تحديد الأحرف المطبوعة وأصوات الكلام. وكانت هذه الآلات هي أسلاف الشبكات العصبية المعاصرة.

**الكمبيوتر الشخصي Personal computer:** تعبير عام عن كمبيوتر الاستخدام الفردي يستخدم معالج دقيق، ويتضمن عتاد حوسبة والبرمجيات اللازمة للفرد لكي يعمل بشكل مستقل.

**هندسة البيكو Picoengineering:** تقنية على مقياس البيكومتر (جزء من تريليون من المتر). وسوف تتضمن هندسة البيكو هندسة على مستوى الجسيمات تحت الذرية.

**بوابة الصورة Picture portal:** في ٢٠٠٩، عرض مرئي لعرض الناس والصور الأخرى في الوقت الفعلي. وفي السنوات المقبلة، سوف تعرض البوابات مشاهد في الأبعاد الثلاثة والوقت الفعلي. ويستخدم ابن موللي، جيرمي، بوابة صور لعرض حرم جامعة ستانفورد.

**بكسل Pixel:** رمز لعنصر الصورة. أصغر عنصر على شاشة الكمبيوتر يحتوي على معلومات لتمثيل صورة. تحتوي البكسلات على بيانات تعطي سطوع وربما لون في نقاط محددة في الصورة.

**الخصوصية الجيدة البارعة Pretty Good Privacy (PGP):** نظام تصفير (صممه فيل زمرمان) موزع على الإنترنت ويستخدم على نطاق واسع. ويستخدم PGP مفتاحًا عامًا يمكن نشره ويستخدمه أي شخص لتشفير رسالة ومفتاح خاص يحتفظ به فقط متلقي الرسائل المشفرة. يُستخدم المفتاح الخاص بواسطة المتلقي لحل الرسائل المصفرة باستخدام المفتاح العام. وتحويل المفتاح العام إلى خاص يتطلب تحديد عدد كبير من العوامل. وإذا كان عدد البتات في المفتاح العام كبير بشكل كافي، عندئذ لا يمكن حساب العوامل في وقت معقول باستخدام الحوسبة التقليدية (بذلك فإن المعلومات المشفرة تظل

في أمان). وقد تتسبب الحوسبة الكمية (بعدد كاف من البتات الكمية qu-bits) في تدمير هذا النوع من التصفير.

**السعر-الكفاءة Price-performance:** معيار لكفاءة منتج بالنسبة لوحدة التكلفة.

**برنامج Program:** مجموعة تعليمات للكمبيوتر تتيح للكمبيوتر أداء مهمة محددة. وتتم كتابة البرامج عادة بلغة مرتفعة المستوى مثل C أو FORTRAN يمكن أن يفهمها المبرمجون البشر ثم تتم ترجمتها إلى لغة الآلة باستخدام برنامج خاص يسمى ترجمان compiler. لغة الآلة هي مجموعة خاصة من الشفرات تتحكم مباشرة في الكمبيوتر.

**بطاقة مثقبة Punch card:** بطاقة مستطيلة تسجل كما هو المعهود نحو ثمانين علامة من البيانات في بنية مشفرة ثنائية كإطار لفجوات مثقوبة فيها.

**الحوسبة الكمية Quantum computing:** طريقة ثورية للحوسبة تقوم على الفيزياء الكمية، وتستخدم قدرة جسيمات مثل الإلكترونات على أن تكون في أكثر من حالة واحدة في نفس الوقت. انظر البت الكمي Qu-bit.

**فك الترابط الكمي Quantum decoherence:** عملية تتحول من خلالها الحالة الكمية المبهمة لجسيم (مثل اللف النووي لإلكترون يمثل بت كمي في الكمبيوتر الكمي) إلى حالة غير مبهمة نتيجة للملاحظة المباشرة أو غير المباشرة من راصد متعمد.

**التصفير الكمي Quantum encryption:** شكل محتمل من التصفير باستخدام تيارات جسيمات متشابكة مثل الفوتونات. انظر التشابك الكمي.

**التشابك الكمي Quantum entanglement:** علاقة بين جسيمين منفصلين ماديًا تحت ظروف خاصة. يكون فوتونان «متشابكان كميًا» إذا تم إنتاجهما بنفس تفاعل الجسيم ويظهران في اتجاهين متعارضين. ويظل الفوتونان في حالة تشابك كمي مع بعضهما حتى لو تم الفصل بينهما بمسافات بالغة الطول (حتى لو كانت المسافة بينهما بالسنوات الضوئية). في مثل هذا الظرف، إذا تم إجبار كل من الفوتونين المتشابكين كميًا على اتخاذ قرار ليختار من بين مسارين يتساوى احتمالهما، فإنه سيتخذ قرارًا مطابقًا وسوف يفعل ذلك في نفس اللحظة الزمنية. وحيث إنه ليس هناك أي رابطة اتصال ممكنة بين الفوتونين المتشابكين كميًا، قد تتنبأ الفيزياء الكلاسيكية بأن قراريهما سيكونان مستقلين. لكن فوتونان متشابكان كميًا يتخذان نفس القرار ويقومان بذلك في نفس اللحظة الزمنية.

وأثبتت التجارب أنه حتى في وجود مسار اتصال مجهول بينهما، لن يكون هناك وقت لكي تنتقل الرسالة خلاله من فوتون إلى الآخر بسرعة الضوء.

**ميكانيكا الكم Quantum mechanics**: نظرية تصف تفاعلات الجسيمات تحت الذرية، تجمع بين عدة اكتشافات أساسية. تتضمن ملاحظة ماكس بلانك في ١٩٠٠ أن الطاقة يتم امتصاصها أو بثها بكميات متقطعة، يطلق عليها كمات. وأيضًا يقول مبدأ اللايقين لفرنر هيزنبرج ١٩٢٧ بأننا لا يمكننا أن نعرف كلًا من الموضع الصحيح وكمية الحركة لإلكترون أو أي جسيم آخر في نفس الوقت. ويتضمن تفسير النظرية الكمية أن الفوتونات تأخذ كل المسارات الممكنة في نفس الوقت (أي، عندما ترتد من مرآة). وتلغي بعض المسارات بعضها بعضًا. ويتم حل الغموض المتبقي الذي يحيط بالمسار الذي تم اتخاذه بالفعل، استنادًا إلى الملاحظة المتعمدة لراصد ما.

**بت كمي Qu-bit**: يتم استخدام «البت الكمي» في الحوسبة الكمية، أي كلًا من صفر وواحد في نفس الوقت، حتى يتسبب فك الترابط الكمي (الملاحظة المباشرة أو غير المباشرة من راصد متعمد) في أن يزول الغموض عن كل بت كمي ويصبح في حالة صفر أو واحد. يقوم البت الكمي الواحد بتخزين عددين محتملين (الصفر والواحد) في نفس الوقت. ويقوم ن من البتات الكمية بتخزين ٢ن حل محتمل لمشكلة في نفس الوقت، مما يعطي الكمبيوتر الكمي قوته الكامنة الهائلة.

**ذاكرة القراءة والكتابة Random Access Memory (RAM)**: الذاكرة التي يمكن أن تُقرأ وتُكتب بتوصل عشوائي لمواقع الذاكرة. والتوصل العشوائي يعنى أنه لا يمكن الدخول إلى هذه المواقع بأي نظام ولا تحتاج إلى الوصول إليها بشكل متتالي. ويمكن استخدام RAM كذاكرة تشغيل لكمبيوتر يمكن أن يتم تحميله بالتطبيقات والبرامج وتشغيلها.

**الشاعر السبراني لراي كيرزويل Ray Kurzweil's Cybernetic Poet**: برنامج كمبيوتر صممه راي كيرزويل يستخدم مدخلًا تكراريًا لإبداع الشعر. يحلل الشاعر السبراني الأنماط المتتالية للكلمة في القصائد التي «قرأها» باستخدام نماذج ماركوف (قريب رياضي للشبكات العصبية) ويبدع شعرًا جديدًا قائمًا على هذه الأنماط.

**ذاكرة القراءة فقط Read-Only Memory (ROM)**: نوع من التخزين في الكمبيوتر يمكن قراءته ولا يمكن كتابته أو إلغائه (مثلًا CD-ROM).

**آلة القراءة Reading machine**: آلة تمسح نصًا وتقرأه بصوت عال. وبعد أن تم تطويرها في البداية للمكفوفين، يستخدم آلات القراءة حاليًا أي شخص لا يمكنه القراءة بمستواها الثقافي، بما في ذلك الأشخاص العاجزين عن القراءة (مثلًا المصابين بعسر القراءة) والأطفال في تعليمهم أول دروس القراءة.

**التكرار المستمر Recursion**: عملية تحديد أو التعبير عن وظيفة أو إجراء قياسًا على العملية نفسها. وطبق المثال، يُنتج كل تكرار لإجراء حل تكراري نوع أكثر بساطة (أو ربما أصغر) من المشكلة مما كان عليه الأمر بالنسبة للتكرار السابق. وتستمر هذه العملية حتى الوصول إلى مشكلة أدنى يكون حلها معروفًا (أو التي يمكن بالفعل حسابها بدون تكرار). ومن المثير للدهشة أن عددًا كبيرًا من المشاكل الرمزية والعددية تقبل المشاركة في الصيغ التكرارية. والتكرار كما هو المعهود يتم استخدامه في برامج ألعاب التسلية، مثل برنامج لعب الشطرنج ديب بلو.

**الصيغة التكرارية Recursive formula**: نموذج إرشادي لبرمجة كمبيوتر يستخدم البحث التكراري للوصول إلى حل مشكلة ما. ويقوم البحث التكراري على تحديد دقيق للمشكلة (مثلًا، قواعد لعبة مثل الشطرنج).

**النسبية Relativity**: نظرية تقوم على افتراضين: (١) أن سرعة الضوء في الفراغ ثابتة ومستقلة عن المصدر وعن الراصد. و(٢) أن الأشكال الرياضية لقوانين الفيزياء غير متغيرة في كل النظم ذات القصور الذاتي. وتشتمل تضمينات نظرية النسبية التكافؤ بين الكتلة والطاقة والتغير في الكتلة، والأبعاد، والزمن مع زيادة السرعة. انظر أيضًا نظرية النسبية لأينشتاين.

**رد الفعل الاسترخائي Relaxation Response**: آلية عصبية اكتشفها الدكتور هربرت بنسون وباحثون آخرون في معهد هارفارد الطبي ومستشفى بيت إسرائيل في بوسطن. ورد الفعل هذا عكس «قاتل أو اهرب» أو رد الفعل الإجهادي، ويصاحبه انخفاض في مستويات إبينفرين (الأدرينالين) ونورإبيفرين (والنورأدرينالين)، وضغط الدم، وسكر الدم، والتنفس وسرعة القلب.

**حركة تذكُّر يورك Remember York movement**: في العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، مجموعة حوار محطمي آلات جديدة على موقع في شبكة المعلومات العالمية. وأُطلق هذا الاسم على المجموعة لإحياء ذكرى محاكمة ١٨١٣ في يورك، في إنجلترا،

وتم تنفيذ الحكم خلالها على عدد من محطمي الآلات، الذين حطموا معدات آلية صناعية، بالإعدام شنقًا، أو السجن، أو النفي.

**الهندسة العكسية Reverse engineering**: اختبار منتج، أو برنامج، أو عملية لفهمه وتحديد طرقه وخوارزمياته. مسح ونسخ طرق الحوسبة البارزة للمخ الإنساني إلى كمبيوتر عصبي ذي قدرة كافية يعتبر مثالًا مستقبليًا للهندسة العكسية.

**روبنسون Robinson**: أول كمبيوتر فعال، تمت صناعته من مرحلات هاتف ويعود اسمه إلى فنان رسوم متحركة معروف رسم آلات روب جولدبرج Rube Goldberg (معدات آلية مبهرجة جدًّا مع آليات متفاعلة). وخلال الحرب العالمية الثانية، أمد روبنسون البريطانيين بتسجيل لكل الرسائل النازية المشفرة المهمة تقريبًا، حتى تم استبداله بكولوساس. انظر كولوساس.

**روبوت Robot**: جهاز قابل للبرمجة، مرتبط بكمبيوتر، ويتكون من معالجات وحساسات ميكانيكية. وقد يؤدي الروبوت مهمة مادية يقوم بأدائها عادة البشر، ربما بسرعة وقوة أعلى، و/أو دقة أعلى.

**علم الروبوتات Robotics**: علم وتقنية تصميم وصناعة الروبوتات. ويوحد علم الروبوتات بين الذكاء الاصطناعي والهندسة الميكانيكية.

**مفارقة راسِل Russell's Paradox**: الغموض الذي يحيط بالسؤال التالي: هل تتضمن مجموعة يتم تعريفها بأنها «كل المجموعات التي لا تتضمن نفسها» نفسها باعتبارها عنصرًا؟ ودفعت هذه المفارقة برتراند راسل إلى ابتكار نظرية جديدة حول المجموعات.

**البحث Search**: إجراء تكراري حيث يبحث من خلاله حلال مشاكل آلي عن حل متتاليات استكشاف تكرارية للبدائل الممكنة.

**الثورة الاصطناعية الثانية Second Industrial Revolution**: أتمتة العقلي أكثر منها وظائف مادية.

**القانون الثاني للديناميكا الحرارية Second low of thermodynamics**: وهو معروف أيضًا بقانون زيادة الإنتروبيا، ويقول هذا القانون إن فوضى (كمية الحركة العشوائية) الجسيمات في الكون قد تزيد لكنها لا تنقص أبدًا. ومع زيادة الفوضى في

الكون، يتم تحويل الطاقة إلى أنواع أقل قابلية للاستخدام. بذلك، فإن كفاءة أي عملية ستكون دائمًا أقل من ١٠٠ بالمائة (من هنا استحالة آلات الحركة الأبدية).

**الاستنساخ الذاتي Self-replication**: عملية أو جهاز لديه القدرة على إنتاج نسخة مطابقة من نفسه. وأجهزة النانوبوت يكون لديها استنساخ ذاتي إذا استطاعت نسخ نفسها. ويُنظر إلى الاستنساخ الذاتي باعتباره وسيلة ضرورية لصناعة أجهزة النانوبوت بسبب الأعداد بالغة الضخامة (أي تريليونات) لمثل هذه الأجهزة الضرورية لأداء وظائف مفيدة.

**شبه الموصل Semiconductor**: مادة تعتمد عادة على السليكون أو الجرمانيوم مع موصلية تقع بين موصلية موصل جيد وعازل. تُستخدم أشباه الموصلات في صناعة الترانزستورات. وتعتمد أشباه الموصلات على الظاهرة النفقية. انظر النفقية.

**مركز الحسيات Sensorium**: في ٢٠١٩، اسم منتج لبيئة لمس شامل في الواقع الافتراضي، يتيح بيئة تتألف كلها من نقل الإحساس باللمس.

**كمبيوتر تسلسلي Serial computer**: الكمبيوتر الذي يؤدي عملية حوسبة واحدة في نفس الوقت. لذلك فكمبيوترين أو أكثر يؤديان العمل أحدهما بعد الآخر، وليس في نفس الوقت (حتى لو أن عمليات الحوسبة مستقلة). وهو عكس كمبيوتر المعالجة المتوازية.

**وادي السليكون Silicon Valley**: منطقة في كاليفورنيا، جنوب سان فرانسيسكو، تعتبر مركزًا مهمًا لابتكار التكنولوجيا العالية، بما في ذلك تطوير البرمجيات، والاتصالات، والدوائر المتكاملة وما يتعلق بها من تقنيات.

**المدرسة الساذجة Simple-minded school**: استخدام إجراءات بسيطة لتقييم الأوراق الطرفية في خوارزم تكراري. على سبيل المثال، في سياق برنامج شطرنج، إضافة قيم القطعة.

**شخص ناتج عن المحاكاة Simulated person**: شخصية واقعية بالصور المتحركة تجسد مظهرًا مرئيًا جديرًا بالتصديق وقادرة على الاتصال باستخدام لغة طبيعية. في ٢٠١٩، يمكن لشخص ناتج عن المحاكاة أن يتفاعل مع الأشخاص الواقعيين باستخدام وسائل سمعية ولمسية في بيئة واقع افتراضي.

**محاكي أو برنامج محاكاة Simulator**: برنامج يشكل نموذجًا ويمثل نشاطًا أو بيئة في نظام الكمبيوتر. تتضمن الأمثلة محاكاة التفاعل الكيميائي وتدفق المائع.

**مجتمع العقل Society of mind**: نظرية عن العقل اقترحها مارفن منسكي يتم النظر إلى الذكاء من جانبها باعتباره نتيجة تنظيم ملائم لعدد كبير (مجتمع) من عقول أخرى، والتي بدورها تتشكل مع ذلك من عقول أكثر بساطة. وفي أسفل هذا التسلسل الهرمي آليات بسيطة، يعتبر كل منها بحد ذاته ذكيًا.

**البرمجيات Software**: المعلومات والمعرفة المستخدمة لأداء وظائف مفيدة بواسطة كمبيوترات وأجهزة حوسبة. وتتضمن برامج كمبيوتر وبياناتها، لكنها تتضمن بشكل أكثر عمومية أيضًا منتجات المعرفة مثل الكتب، والموسيقى، والصور، والأفلام والفيديو.

**التطور المعتمد على البرمجيات Software-based evolution**: محاكاة البرمجيات لعملية تطورية. مثال على التطور المعتمد على البرمجيات شبكة تيرا Network Tierra، صممها توماس راي. و«ابتكارات» راي برمجيات محاكاة للكائنات الحية حيث لكل «خلية» شفرتها الوراثية المشابهة للدنا. تتنافس الكائنات الحية بعضها مع بعض حول فضاء المحاكاة ومصادر الطاقة المحدودة في بيئتها الناتجة بالمحاكاة.

**استقلال المتكلم Speaker independence**: يشير إلى قدرة منظومة تعرّف على الكلام على فهم أي متكلم، بصرف النظر عما إذا كانت أو لم تكن المنظومة قد جمعت مسبقًا عينة من كلام هذا المتكلم.

**كمبيوتر البرامج المخزونة Stored-program computer**: كمبيوتر يتم بواسطته تخزين البرنامج في ذاكرة مع بيانات للتشغيل. سعة برنامج التخزين يعتبر قدرة مهمة لنظم الذكاء الاصطناعي حيث شفرة تكرارها وتحسينها الذاتي غير ممكنة بدون هذا البرنامج.

**تجربة ذاتية Subjective experience**: تجربة كيان كما يمارسها هذا الكيان، في مقابل راصدي هذا الكيان (متضمنًا عملياته الداخلية) بواسطة كيان آخر، أو بواسطة أجهزة قياس.

**ركيزة Substrate**: وسيط حوسبة أو دوائر كهربائية. انظر وسيط حوسبة.

**كمبيوتر فائق Supercomputer**: أسرع وأكثر الكمبيوترات قوة من بين تلك المتاحة في أي وقت. تُستخدم الكمبيوترات الفائقة لعمليات الحوسبة التي تتطلب سرعة عالية وتخزين كبير (مثل تحليل بيانات الطقس).

**الموصلية الفائقة Superconductivity**: ظاهرة فيزيائية وفقًا لها يكون لدى بعض المواد مقاومة كهربائية صفر عند درجات الحرارة المنخفضة. وتشير الموصلية الفائقة إلى إمكانية الحصول على قوة حوسبة بالغة الارتفاع بتبديد قليل للحرارة أو بدون تبديدها ( وهوُ عامل تقييد حاليًا). وتبديد الحرارة سبب رئيسي لصعوبة ابتكار دوائر كهربائية ثلاثية الأبعاد.

**المركِّب Synthesizer**: جهاز يحسب الإشارات في الوقت الفعلي. في سياق الموسيقى هو جهاز (يعتمد عادة على الكمبيوتر) يبتكر ويولد الأصوات والموسيقى إلكترونيًا.

**افتراضية تنقل الإحساس باللمس Tactile virualism**: في ٢٠٢٩، تقنية تتيح للشخص استخدام جسم افتراضي ليستمتع بممارسات الواقع الافتراضي بدون جهاز واقع افتراضي ولا يستخدم سوى زراعات عصبية (التي تتضمن اتصال ذي تردد عالي لاسلكي). تولد الزراعات العصبية نمط الإشارات العصبية التي تناظر تجربة «واقعية» مماثلة.

**التكنولوجيا Technology**: عملية تطور في ابتكار الأدوات لتشكيل البيئة والتحكم فيها. وتصل التكنولوجيا إلى ما هو أبعد من مجرد تشكيل واستخدام الأدوات. فهي تتضمن سجلًا لصناعة الأدوات وتقدمًا في تعقد الأدوات. وتتطلب ابتكار وهي نفسها استمرار في التطور بطرق أخرى. و«الشفرة الوراثية» للعملية التطورية للتقنية هي قاعدة معرفة يحافظ عليها الجنس البشري صانع الأدوات.

**شريحة ثلاثية الأبعاد Three-dimensional chip**: شريحة مصنوعة في الأبعاد الثلاثة، تسمح بذلك بوضع مئات الآلاف من طبقات الدوائر الكهربائية. وتجرى الأبحاث حاليًا على شرائح الأبعاد الثلاثة وتقوم بهندستها مجموعة من الشركات.

**بيئة اللمس الشامل Total touch environment**: في ٢٠١٩، بيئة واقع افتراضي تسمح بوجود بيئة لمسية شاملة.

**ترانزستور Transistor**: جهاز تحويل و/أو تضخيم يستخدم أشباه الموصلات، يعود ابتكاره إلى ١٩٤٨ بواسطة جون باردين، ووالتر براتين، ووليام شوكلي من مختبرات بيل Bell Labs.

**هاتف ترجمة Translating telephone**: هاتف يسمح بترجمة الكلام في الوقت الفعلي من لغة بشرية إلى أخرى.

**النفقية Tunneling**: في الميكانيكا الكمية، قدرة الإلكترونات (الجسيمات ذات الشحنة السالبة التي تدور حول نواة الذرة) على أن تكون موجودة في مكانين في نفس الوقت، وخاصة على جانبي حاجز. وتسمح النفقية لبعض الإلكترونات بالتحرك بفعالية خلال الحاجز وتفسر الخواص «شبه» الموصلة للترانزستور.

**آلة تورينج Turing machine**: نموذج تجريدي بسيط لآلة كمبيوترة، صممها ألان تورينج في بحثه عام ١٩٣٦ «حول الأعداد القابلة للعد.» وآلة تورينج تصور أساسي في نظرية الحوسبة.

**اختبار تورينج Turing test**: إجراء اقترحه آلان تورينج في ١٩٥٠ لتحديد ما إذا كان نظام (كمبيوتر عادة) أو لم يكن قد وصل إلى ذكاء على مستوى ذكاء البشر، ويقوم على ما إذا كان هذا النظام يوهم متسائل بشري فيجعله يعتقد بأنه إنسان. يلتقي «حَكَم» بشري نظام (الكمبيوتر)، و«النقيض» إنسان أو أكثر، عند خطين طرفيين (بكتابة رسائل). ويحاول «النقيضان» الكمبيوتر والإنسان إقناع الحكم الإنساني بأنهما بشريين. لو عجز الحكم البشري عن التمييز بين «النقيضان» كمبيوتر وإنسان، يتم اعتبار أن الكمبيوتر يُظهر ذكاءً على مستوى بشري. لم يحدد تورينج الكثير من التفاصيل المهمة، مثل مدة دوام طرح الأسئلة وحذق الحكم الإنساني والنقيضين. في ٢٠٢٩، تنجح الكمبيوترات في الاختبار، رغم أن مصداقية الاختبار تظل موضع نزاع وجدل فلسفي.

**غيمة ضباب متعددة الوظائف Utility fog**: فضاء مليء بغيمات رذاذ صغيرة. في نهاية القرن الحادي والعشرين، يمكن استخدام غيمة الضباب متعددة الوظائف لمحاكاة أي بيئة، وتتيح بشكل خاص واقع «حقيقي» بقدرات تحول البيئة إلى واقع افتراضي.

**صمام إلكتروني Vacuum tube**: النوع المبكر جدًّا لمفتاح التحويل الإلكتروني (أو المضخم) يعتمد على حاويات زجاجية مفرغة من كل أو معظم الغازات. وتُستخدم في المذياع وأجهزة الاتصال الأخرى والكمبيوترات القديمة، وحل الترانزستور محلها.

**رأسمال تنامي المشروع Venture Capital**: يشير إلى التمويلات المتاحة للاستثمار بواسطة مؤسسات ترفع من مال المساهمات وبشكل خاص لكي تستثمر في شركات، تنمية جديدة بشكل أساسي.

**جسمٌ افتراضي Virtual body**: في الواقع الافتراضي، ربما يتحول الجسم الخاص بشخص ما ليظهر (وأخيرًا ليشعر) بأنه مختلف عما هو عليه في الواقع «الحقيقي.»

**الواقع الافتراضي Virtual reality**: بيئة ناتجة عن المحاكاة يمكن أن تنغمس فيها. يتيح الواقع الافتراضي إحلالًا جديرًا بالتصديق للأحاسيس المرئية والسمعية، والشعور الحسي في ٢٠١٩. في العقود التالية سوف يتضمن أيضًا حاسة الشم. وواقعية الممارسة المرئية في الواقع الافتراضي أنك عندما تحرك رأسك، يعيد المشهد فورًا تغيير موقعه لكي تشعر بأنك تنظر الآن إلى منطقة مختلفة من المشهد ثلاثي الأبعاد. المقصود هو محاكاة ما يحدث عندما تدير رأسك الحقيقي في الواقع الحقيقي، حيث تتغير بسرعة الصور التي تلتقطها الشبكية في عينيك. ويفهم مخك مع ذلك أن العالم يظل ساكنًا وأن الصورة تتحرك عبر الشبكيتين لا لشيء سوى أن رأسك يستدير. في البداية، يتطلب الواقع الافتراضي (بما في ذلك النظم المعاصرة غير المتقنة) استخدام خوذات خاصة للحصول على البيئات المرئية والسمعية. وفي ٢٠١٩، سوف يكون الواقع الافتراضي متاحًا بنظم منتشرة في كل مكان تعتمد على العدسات اللاصقة وأجهزة مزروعة للتصوير الشبكي (وأيضًا أجهزة مماثلة لـ «التصوير» السمعي). وبعد ذلك في القرن الحادي والعشرين سوف يكون الواقع الافتراضي (والذي سيتضمن كل الحواس) مزودًا بمحاكاة مباشرة لمسارات عصبية باستخدام زراعات عصبية.

**عدسات الواقع الافتراضي السمعية Virtual reality auditory lenses**: في ٢٠١٩، أجهزة صوتية تعرض أصواتًا عالية الوضوح تم وضعها بدقة في بيئة افتراضية ثلاثية الأبعاد. ويمكن دمجها في نظارات، أو ارتدائها مثل مجوهرات الجسم، أو تكون مزروعة.

**عرض واقع افتراضي عائق Virtual reality blocking display**: في ٢٠١٩، تقنية عرضٍ باستخدام عدسات الواقع الافتراضي البصرية (انظر ما يلي) وعدسات الواقع

الافتراضي السمعية (انظر ما سبق) تولّد بيئات مرئية افتراضية عالية الواقعية. ويعوق العرض البيئة الحقيقية، لذلك ترى وتسمع فقط البيئة الافتراضية المعروضة.

**عرض واقع افتراضي بتوجيه الرأس Virtual reality head-directed display:** في ٢٠١٩، تقنية عرض باستخدام عدسات الواقع الافتراضي البصرية (انظر ما يلي) وعدسات الواقع الافتراضي السمعية (انظر ما سبق) تعرض بيئة افتراضية ساكنة بالنسبة لوضع وتوجيه رأسك. وعندما تحرك رأسك، يتحرك العرض بالنسبة للبيئة الحقيقية. وهذا النوع يُستخدم غالبًا للتفاعل مع وثائق افتراضية.

**عدسات الواقع الافتراضي البصرية Virtual reality optical lenses:** في ٢٠٠٩، عروض ثلاثية الأبعاد مدمجة في نظارات أو عدسات لاصقة. وتولّد عروض «العين المباشرة» هذه بيئات افتراضية بصرية عالية الواقعية تكسوا البيئة «الحقيقية.» وتقنية العرض هذه التي تعكس الصور مباشرة في شبكية الإنسان، يتخطى وضوحها الرؤية البشرية، وتُستخدم على نطاق واسع بصرف النظر عن العجز البصري. في ١٩٩٨، أتاح عرض الشبكية الافتراضية للرؤية الدقيقة Microvision Virtual Retina Display قدرة مماثلة للطيارين العسكريين مع أنواع للمستهلك متوقعة.

**عرض كسوة واقع افتراضي Virtual reality overlay display:** في ٢٠١٩، تقنية عرض تستخدم عدسات الواقع الافتراضي البصرية (انظر ما سبق) وعدسات الواقع الافتراضي السمعية (انظر ما سبق) تدمج البيئات الحقيقية والافتراضية. وتتحرك الصور المعروضة عندما تحرك أو تدير رأسك بحيث يبدو الناس الافتراضيون والأشياء والبيئة الافتراضية كأنها لا تزال ساكنة بالنسبة للبيئة الحقيقية (التي تظل تراها). لذلك إذا كان عرض العين المباشرة يعرض صور شخص فإن هذا الشخص (الذي قد يكون شخص حقيقي بعيد جغرافيًا يشارك في مكالمة هاتفية مرئية في الأبعاد الثلاثة معك، أو شخص ناتج عن المحاكاة أوجده كمبيوتر) المعروض سوف يبدو في مكان خاص بالنسبة للبيئة الحقيقية التي تراها أيضًا. وعندما تحرك رأسك، سوف يبدو هذا الشخص مستمرًا في نفس المكان بالنسبة للبيئة الحقيقية.

**الجنس الافتراضي Virtual sex:** جنس في الواقع الافتراضي يدمج البيئة المرئية والسمعية واللمسية. قد يكون الشريك الجنسي شخصًا حقيقيًّا أو ناتجًا عن المحاكاة.

**بيئة افتراضية تنقل الإحساس باللمس Virtual Tactile environment**: منظومة واقع افتراضي تسمح للمستخدم بممارسة بيئة واقعية ملموسة بالكامل.

**شريحة بصر Vision chip**: سليكون يحاكي شبكية الإنسان يقدم خوارزم المعالجة المرئية للثدييات المبكرة، وهو خوارزم يطلق عليه تصفية مركز البيئة المحيطة.

**الشبكة العنكبوتية العالمية (أو شبكة المعلومات العالمية) World Wide Web (WWW)**: شبكة اتصالات موزعة على نطاق واسع (غير مركزة) تسمح للأفراد والمؤسسات حول العالم بالاتصال بعضهم ببعض. ويتضمن الاتصال المشاركة في النص، والصور، والأصوات، والفيديو، والبرمجيات، والأنواع الأخرى من المعلومات. ونموذج تداخل المستخدم على الشبكة web كان يقوم في البداية على النص الفائق، الذي يتكون من وثائق (قد تحتوي على أي نوع من البيانات) مرتبط بـ «روابط»، يختارها المستخدم بجهاز إشارة مثل الفأرة. والشبكة منظومة خدمات بيانات ورسائل مرتبطة بأربطة اتصال عالية السعة يمكن لأي مستخدم للكمبيوتر أن يدخل إليها بواسطة «برنامج تصفح الشبكة» والدخول إلى الإنترنت. مع ظهور ويندوز ٩٨، تم دمج الشبكة في نظام التشغيل. في أواخر القرن الحادي والعشرين ستتيح الشبكة وسيط حوسبة موزع للبشر المعتمدين على البرمجيات.

**مشكلة عام ٢٠٠٠ Y2K**: تشير إلى المصاعب المتوقعة الناتجة عن البرمجيات (التي تم تطويرها عادة قبل عدة عقود من سنة ٢٠٠٠) حيث يستخدم نطاق التاريخ رقمين فقط. إذا لم يتم ضبط البرمجيات، سوف يؤدي ذلك لأن تسلك برامج الكمبيوتر بشكل متعرج عندما يأتي عام «صفر صفر.» وسوف يخطئ هذا البرنامج في عام ٢٠٠٠ فيعتبره عام ١٩٠٠.



# ملحوظات

## مقدمة: منافس قادم لا محالة

1. My recollections of **The Twilight Zone** episode are essentially accurate, although the gambler is actually a small-time crook named Rocky Valentine. Episode 28, "A Nice Place to Visit" (I learned the name of the episode after writing the prologue), aired during the first season of **The Twilight Zone**, on April 15, 1960.

   The episode begins with a voice-over: "Portrait of a man at work, the only work he's ever done, the only work he knows. His name is Henry Francis Valentine, but he calls himself Rocky, because that's the way his life has been—rocky and perilous and uphill at a dead run all the way..."

   While robbing a pawnbroker's shop, Valentine is shot and killed by a policeman. When he awakens, he is met by his afterlife guide, Pip. Pip explains that he will provide Valentine with whatever he wants. Valentine is suspicious, but he asks for and receives a million dollars and a beautiful girl. He then goes on a gambling spree, winning at the roulette table, at the slot machines, and later, at pool. He is also surrounded by beautiful women, who shower him with attention.

   Eventually Valentine tires of the gambling, the winning, and the beautiful women. He tells Pip that it is boring to win all the time and that he doesn't belong in Heaven. He begs Pip to take him to "the Other Place." With a malicious gleam in his eye, Pip replies, "This is the Other Place!" Episode synopsis adapted from Marc Scott Zicree, **The Twilight Zone Companion** (Toronto: Bantam Books, 1982, 113-115).
2. What were the primary political and philosophical issues of the twentieth century? One was ideological—totalitarian systems of the right (fascism) and left (communism) were confronted and largely defeated by capitalism (albeit with a large public sector) and democracy. Another was the rise of technology, which began to be felt in the nineteenth century and became a major force in the twentieth century. But the

issue of "what constitutes a human being" is not yet a primary issue (except as it affects the abortion debate), although the past century did witness the continuation of earlier struggles to include all members of the species as deserving of certain rights.

3. For an excellent overview and technical details on neural-network pattern recognition, see the "Neural Network Frequently Asked Questions" web site, edited by W. S. Sarle, at <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>. In addition, an article by Charles Arthur, "Computers Learn to See and Smell Us," **from Independent**, January 16, 1996, describes the ability of neural nets to differentiate between unique characteristics.
4. As will be discussed in chapter 6, "Building New Brains," destructive scanning will be feasible early in the twenty-first century. Noninvasive scanning with sufficient resolution and bandwidth will take longer but will be feasible by the end of the first half of the twenty-first century.

## الفصل الأول: قانون الزمن والشواش

1. For a comprehensive overview and detailed references on the big bang theory and the origin of the Universe, see "Introduction to Big Bang Theory, Bowdoin College Department of Physics and Astronomy at <http://www.bowdoin.edu/dept/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>.

   Print sources on the big bang theory include: Joseph Silk, **A Short History of the Universe** (New York: Scientific American Library, 1994); Joseph Silk, **The Big Bang** (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1980); Robert M. Wald, **Space, Time & Gravity** (Chicago: The University of Chicago Press, 1977); and Stephen W. Hawking, **A Brief History of Time** (New York: Bantam Books, 1988).
2. The strong force holds an atomic nucleus together. It is called "strong" because it needs to overcome the powerful repulsion between the protons in a nucleus with more than one proton.
3. The electroweak force combines electromagnetism and the weak force responsible for beta decay. In 1968, American physicist Steven Weinberg and Pakistani physicist Abdus Salam were successful in their unification of the weak force and the electromagnetic force using a mathematical method called gauge symmetry.
4. The weak force is responsible for beta decay and her slow nuclear processes that occur gradually
5. Albert Einstein, **Relativity: The Special and the General Theory** (New York: Crown Publishers, 1961).
6. The laws of thermodynamics govern how and why energy is transferred.

The first law of thermodynamics (Postulated by Hermann von Helmholtz in 1847), also called the Law of Conservation of Energy, states that the total amount of energy in the universe is constant.

The second law of thermodynamics (articulated by Rudolf Clausias in 1850), also known as the Law of Increasing Entropy, states that entropy, or disorder, in the Universe never decreases (and, therefore, usually increases). As the disorder in the Universe increases, the energy is transformed into less usable forms. Thus the efficiency of any process will always be less than 100 percent.

The third law of thermodynamics (described by Walter Hermann Nernst in 1906, based on the idea of a temperature of absolute zero first articulated by Baron Kelvin in 1848), also known as the Law of Absolute Zero, tells us that all molecular movement stops at a temperature called absolute zero, or 0 Kelvin (-273°C). Since temperature is a measure of molecular movement, the temperature of absolute zero can be approached, but it can never be reached.

7. "Evolution and Behavior" at <http://ccp.uchicago.edu/~jyin/evolution.html> contains an excellent collection of articles and links exploring the theories of evolution. Print sources include Edward O. Wilson, **The Diversity of Life** (New York: W. W. Norton & Company, 1993); and Stephen Jay Gould, **The Book of Life** (New York: W. W. Norton & Company, 1993).
8. Four hundred million years ago, vegetation spread from lowland swamps to create the first land-based plants. This development permitted vertebrate herbivorous animals to step onto land, creating the first amphibians. Along with the amphibians, arthropods also stepped onto land, some of which evolved into insects. About 200 million years ago, dinosaurs and mammals began sharing the same environment. The dinosaurs were far more noticeable. Mostly the mammals stayed out of the dinosaurs' way, with many mammals being nocturnal.
9. Mammals became dominant in the niche of land-based animals after the demise of the dinosaurs 65 million years ago. Mammals are the more intellectual animal class, distinguished by warm blood, the nourishment of their children with maternal milk, hairy skin, sexual reproduction, four appendages (in most cases) and, most notably, a highly developed nervous system.
10. Primates, the most advanced mammalian order, were distinguished by forward-facing eyes, binocular vision, large brains with a convoluted cortex, which permitted more advanced reasoning faculties, and complicated social patterns. Primates were not the only intelligent animals, but they had one additional characteristic that would hasten the age of computation: the opposable thumb. The two qualities heeded

for the subsequent emergence of technology were now coming into place: intelligence and the ability to manipulate the environment. It's no coincidence that fingers are called digits. The origin of the word digit, as used in Modern English and appearing first in Middle English, is from the Latin word digitus, for "finger" or "toe"; perhaps akin to Greek **deiknynai**, "to show."

11. About 50 million years ago, the anthropoid suborder of primates split off. Unlike their prosimian cousins, the anthropoids underwent rapid evolution, giving rise to advanced primates such as monkeys and apes about 30 million years ago. These sophisticated primates were noted for subtle communication abilities using sounds, gestures, and facial expressions, thereby allowing the development of intricate social groups. About 15 million years ago, the first humanoids emerged. Although they initially walked on their hind legs, they used the knuckles of their front legs for balance.
12. Although it is worth pointing out that a 2 percent change in a computer program can be very significant.
13. **Homo sapiens** are the only technology-creating species on Earth today, but were not the first such species. Emerging about five million years ago was **Homo habilis** (i.e., "handy" human being), known for his erect posture and large brain. He was called handy because he fashioned and used tools. Our most direct ancestor, **Homo erectus**, showed up in Africa about two million years ago. **Homo erectus** was also responsible for advancing technology, including the domestication of fire, the development of language, and the use of weapons.
14. Technology emerged from the mists of humanoid history and has accelerated ever since. Technologies invented by other human species and subspecies included the domestication of fire, tools of stone, pottery, clothing, and other means of providing for basic human needs. Early humanoids also initiated the development of language, visual art, music, and other means for human communication.

    About ten thousand years ago, humans began domesticating plants, and soon thereafter, animals. Nomadic hunting tribes began settling down, allowing for more stable forms of social organization. Buildings were constructed to protect both humans and their farming products. More effective means of transportation emerged, facilitating the emergence of trade and large-scale human societies.

    The wheel appears to be a relatively recent innovation, with the oldest excavated wheels dating from about 5,500 years ago in Mesopotamia. Emerging around the same time in the same region were rafts, boats, and a system of "cuneiform" inscriptions, the first form of written language that we are aware of.

These technologies enabled humans to congregate in large groups, allowing the emergence of civilization. The first cities emerged in Mesopotamia around 6,000 years ago. Emerging about a millennium later were the ancient Egyptian cities, including Memphis and Thebes, culminating in the reigns of the great Egyptian kings. These cities were constructed as war machines with defensive walls protected by armies utilizing weapons drawn from the most advanced technologies of their time, including chariots, spears, armor, and bows and arrows. Civilization in turn allowed for human specialization of labor through a caste system and organized efforts at advancing technology. An intellectual class including teachers, engineers, physicians, and scribes emerged. Other contributions by the early Egyptian civilization included a paperlike material manufactured from papyrus plants, standardization of measurement, sophisticated metalworking, water management, and a calendar.

More than 2,000 years ago, the Greeks invented elaborate machinery with multiple internal states. Archimedes, Ptolemy, and others described levers, cams, pulleys, valves, cogs, and other intricate mechanisms that revolutionized the measurement of time, navigation, mapmaking, and the construction of buildings and ships. The Greeks are perhaps best known for their contributions to the arts, particularly literature, theater, and sculpture.

The Greeks were superseded by the superior military technology of the Romans. The Roman empire was so successful that it produced the first urban civilization to experience long-term peace and stability Roman engineers constructed tens of thousands of kilometers of roads and thousands of public constructions such as administrative buildings, bridges, sports stadiums, baths, and sewers. The Romans made particularly notable advances in military technology, including advanced chariots and armor, the catapult and javelin, and other effective tools of war.

The fall of the Roman empire around 500 A.D. ushered in the misnamed Dark Ages. While progress during the next thousand years was slow by contemporary standards, the ever tightening spiral that is technological progress continued to accelerate. Science, technology, religion, art, literature, and philosophy all continued to evolve in Byzantine, Islamic, Chinese, and other societies. Worldwide trade enabled a cross-fertilization in technologies. In Europe, for example, the crossbow and gunpowder were borrowed from China. The spinning wheel was borrowed from India. Paper and printing were developed in China about 2,000 years ago and migrated to Europe many centuries later. Windmills emerged in several parts of the world, facilitating

expertise with elaborate gearing machines that would subsequently support the first calculating machines.

The invention in the thirteenth century of a weight-driven clock using the cam technology perfected for windmills and waterwheels freed society from structuring their lives around the sun. Perhaps the most significant invention of the late Middle Ages was Johannes Gutenberg's invention of the movable-type printing press, which opened intellectual life beyond an elite controlled by church and state.

By the seventeenth century, technology had created the means for empires to span the globe. Several European countries, including England, France, and Spain, were developing economies based on far-flung colonies. This colonization spawned the emergence of a merchant class, a worldwide banking system, and early forms of intellectual property protection, including the patent.

On May 26, 1733, the English Patent Office issued a patent to John Kay for his "New Engine for Opening and Dressing Wool."

This was good news, for he had plans to manufacture his "flying shuttle" and market it to the burgeoning English textile industry. Kay's invention was a quick success, but he spent all of his profits on litigation, attempting in vain to enforce his patent. He died in poverty, never realizing that his innovation in the weaving of cloth represented the launching of the Industrial Revolution.

The widespread adoption of Kay's innovation created pressure for a more efficient way to spin yarn, which resulted in Sir Richard Arkwright's Cotton Jenny, patented in 1770. In the 1780s, machines were invented to card and comb the wool to feed the new automated spinning machines. By the end of the eighteenth century, the English cottage industry of textiles was replaced with increasingly efficient centralized machines. The birth of the Industrial Revolution led to the founding of the Luddite movement in the early 1800s, the first organized movement opposing technology.

15. Primatologist Carl Van Schaik observed that the orangutans of Sumatra's Suaq Balimbing swamp all make and use tools to reach insects, honey, and fruit. Though captive orangutans are easily taught to use tools, the Suaq primates are the first wild population observed using tools. The use of tools may be a result of necessity. Orangutans in other parts of the world have not been observed to use tools, basically because their food supply is more easily accessible.

Carl Zimmer, "Tooling Through the Trees." **Discover 16**, no.11 (November 1995): 46-47.

Crows fashion tools from sticks and leaves. The tools are used for different purposes, are highly predictable in their construction, and

even have hooks and other mechanisms for finding and manipulating insect prey. They often carry these devices when flying and store them next to their nests.

Tina Adler, "Crows Rely on Tools to Get Their Work Done." **Science News** 149 no. 3 (January 20, 1996): 37.

Crocodiles can't grip prey, so they sometimes trap prey between rocks and/or roots. The tree root acts to anchor the dead prey while the crocodile eats its meal. Some people have attributed the crocodiles use of stones and roots as using tools.

From the "Animal Diversity Web Site" at the University of Michigan's Museum of Zoology, <http://www.oit.itd.umich.edu/projects/ADW/'.>

16. An animal communicates for a variety of reasons: defense (to signal approaching danger to other members of its species), food gathering (to alert other members to a food source), courtship and mating (to alert members of its desirability and to warn potential competitors away), and maintenance of territory. The basic motivation for communication is survival of the species. Some animals use communication not only for survival, but also to express emotion.

    There are many fascinating examples of animal communication:

    - A female tree frog found in Malaysia uses its toes to tap on vegetation, alerting potential mates to her availability. Lori Oliwenstein, Fenella Saunders, and Rachel Preiser, "Animals 1995." Discover 17, no. 1 (January 1996): 54-57.
    - Male meadow voles (a small rodent) groom themselves in order to produce body odors that will attract their mates. Tina Adler, "Voles Appreciate the Value of Good Grooming." **Science News** 149, no. 16 (April 20, 1996): 247.
    - Whales communicate through a series of calls and cries. Mark Higgins, "Deep Sea Dialogue." **Nature Canada 26,** no. 3 (Summer 1997): 29-34.
    - Primates, of course, vocalize to communicate a variety of messages. One group of researchers studied capuchin monkeys, squirrel monkeys, and golden-lion tamarins in Central and South America. Often these animals are unable to see each other through the forest, so they developed a series of calls or trills that would alert members to move toward food sources. Bruce Bower, "Monkeys Sound Off, Move Out." **Science News** 149, no. 17 (April 27, 1996): 269.

17. Washoe and Koko (male and female gorillas, respectively) are credited with acquiring American Sign Language (ASL). They are the most

famous of the communicating primates. Viki, a chimpanzee, was taught to vocalize three words (mama, papa, and cup). Lana and Kanzi (female chimpanzees) were taught to press buttons with symbols.

Steven Pinker reflects upon researchers' claims that apes fully comprehend sign language. **In The Language Instinct: How the Mind Creates Language** (New York: Morrow, 1994), he notes that the apes learned a very crude form of ASL, not the full nuances of this language. The signs they learned were crude mimics of the "real thing." In addition, according to Pinker, the researchers often misinterpreted apes' hand motions as actual signs. One researcher on Washoe's team who was deaf noted that other researchers would keep a log of long lists of signs, whereas the deaf researcher's log was short.

18. David E. Kalish. "Chip Makers and U.S. Unveil Project." **New York Times,** September 12, 1997.
19. The chart "The Exponential Growth of Computing, 1900-1998" is based on the following data

| Date | Device | Add Time (sec) | Calculations per Sec. (CPS) | Cost (then dollars) | Cost 1998 Dollars | CPS/$1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1900 | Analytical Engine | 900E-01 | 1.11E-01 | $1.000.000 | $19.087.000 | 5.821E-06 |
| 1908 | Hollerith Tabulator | 5.00 E+01 | 2.00 E-02 | $9.000 | $154.000 | 1.299 E-04 |
| 1911 | Monroe Calculator | 3.00 E+01 | 3.33 E-02 | $35.000 | $576.000 | 5.787 E-05 |
| 1919 | IBM Tabulator | 5.00 E-00 | 2.00 E-01 | $20.000 | $188.000 | 1.064 E-03 |
| 1928 | National Ellis 3000 | 1.00 E+01 | 1.00 E-01 | $15.000 | $143.000 | 6.993 E-04 |
| 1939 | Zuse 2 | 1.00 E-00 | 1.00 E-00 | $10.000 | $117.000 | 8.547 E-03 |
| 1940 | Bell Calculator Model 1 | 3.00 E-01 | 3.33 E-00 | $20.000 | $233.000 | 1.431 E-02 |
| 1941 | Zuse 3 | 3.00 E-01 | 3.33 E-00 | $6.500 | $72.000 | 4.630 E-02 |
| 1943 | Colossus | 2.00 E-04 | 5.00 E+03 | $100.000 | $942.000 | 5.308 E-00 |
| 1946 | ENIAC | 2.00 E-04 | 5.00 E+03 | $750.000 | $6265.000 | 7.981 E-01 |
| 1948 | IBM SSEC | 8.00 E-04 | 1.25 E+03 | $500.000 | $3380.000 | 3.698 E-01 |
| 1949 | BINAC | 2.86 E-04 | 3.50 E+03 | $278.000 | $1903.000 | 1.8371 E-00 |
| 1949 | EDSAC | 1.40 E-03 | 7.14 E+02 | $100.000 | $684.000 | 1.044 E-00 |
| 1951 | Univac 1 | 1.20 E-04 | 8.33 E+03 | $930.000 | $5827.000 | 1.430 E-00 |
| 1953 | Univac 1103 | 3.00 E-05 | 3.33 E+04 | $895.000 | $5461.000 | 6.1041 E-00 |
| 1953 | IBM 701 | 3.00 E-05 | 1.67 E+04 | $230.000 | $1403.000 | 1.181 E+01 |
| 1954 | EDVAC | 9.00 E-04 | 1.11 E+03 | $500.000 | $3028.000 | 3.669 E-01 |
| 1955 | Whirlwind | 5.00 E-05 | 2.00 E+04 | $200.000 | $1216.000 | 1.645 E-01 |
| 1955 | IBM 704 | 2.40 E-05 | 4.17 E+04 | $1994.000 | $12120.000 | 3.438 E-00 |
| 1958 | Datamatic 1000 | 2.50E-04 | 4.00E+03 | $2,179,100 | $12,283,000 | 3.257E-01 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1958 | Univac II | 2.00E-04 | 5.00E+03 | $970,000 | $5,468,000 | 9.144E-01 |
| 1959 | Mobidic | 1.60E-05 | 6.25E+04 | $1,340,000 | $7,501,000 | 8.332E-00 |
| 1959 | IBM 7090 | 4.00E-06 | 2.50E+05 | $3,000,000 | $16,794,000 | 1.489E+01 |
| 1960 | IBM 1620 | 6.00E-04 | 1.67E+03 | $200,000 | $1,101,000 | 1.514E-00 |
| 1960 | DEC PDP-1 | 1.00E-05 | 1.00E+05 | $120,000 | $660,000 | 1.515E+02 |
| 1961 | DEC PDP-4 | 1.00E-05 | 1.00E+05 | $65,000 | $354,000 | 2.825E+02 |
| 1962 | Univac III | 9.00E-06 | 1.11E+05 | $700,000 | $3,776,000 | 2.943E+01 |
| 1964 | CDC 6600 | 2.00E-07 | 5.00E+06 | $6,000,000 | $31,529,000 | 1.586E+02 |
| 1965 | IBM 1130 | 8.00E-06 | 1.25E+05 | $50,000 | $259,000 | 4.826E+02 |
| 1965 | DEC PDP-8 | 6.00E-06 | 1.67E+05 | $18,000 | $93,000 | 1.792E+03 |
| 1966 | IBM 360 | | | | | |
| | Model 75 | 8.00E-07 | 1.25E+06 | $5,000,000 | $25,139,000 | 4.972E+01 |
| 1968 | DEC PDP-10 | 2.00E-06 | 5.00E+05 | $500,000 | $2,341,000 | 2.136E+02 |
| 1973 | Intellec-8 | 1.56E-04 | 6.41E+03 | $2,398 | $8,798 | 7.286E+02 |
| 1973 | Data General Nova | 2.00E-05 | 5.00E+04 | $4,000 | $14,700 | 3.401E+03 |
| 1975 | Altair 8800 | 1.56E-05 | 6.41E+04 | $2,000 | $6,056 | 1.058E+04 |
| 1976 | DEC PDP-11 | | | | | |
| | Model 70 | 3.00E-06 | 3.33E+05 | $150,000 | $429,000 | 7.770E+02 |
| 1977 | Cray 1 | 1.00E-08 | 1.00E+08 | $10,000,000 | $26,881,000 | 3.720E+03 |
| 1977 | Apple II | 1.00E-05 | 1.00E+05 | $1,300 | $3,722 | 2.687E+04 |
| 1979 | DEC VAX 11 | | | | | |
| | Model 780 | 2.00E-06 | 5.00E+05 | $200,000 | $449,000 | 1.114E+03 |
| 1980 | Sun-1 | 3.00E-06 | 3.33E+05 | $30,000 | $59,300 | 5.621E+03 |
| 1982 | IBM PC | 1.56E-06 | 6.41E+05 | $3,000 | $5,064 | 1.266E+05 |
| 1982 | Compaq Portable | 1.56E-06 | 6.41E+05 | $3,000 | $5,064 | 1.266E+05 |
| 1983 | IBM AT-80286 | 1.25E-06 | 8.00E+05 | $5,669 | $9,272 | 8.628E+04 |
| 1984 | Apple Macintosh | 3.00E-06 | 3,33E+05 | $2,500 | $3,920 | 8.503E+04 |
| 1986 | Compaq | | | | | |
| | Deskpro 386 | 2.50E-07 | 4.00E+06 | $5,000 | $7,432 | 5.382E+05 |
| 1987 | Apple Mac II | 1.00E-06 | 1.00E+06 | $3,000 | $4,300 | 2.326E+05 |
| 1993 | Pentium PC | 1.00E-07 | 1.00E+07 | $2,500 | $2,818 | 3.549E+06 |
| 1996 | Pentium PC | 1.00E-08 | 1.00E+08 | $2,000 | $2,080 | 4.808E+07 |
| 1998 | Pentium II PC | 5.00E-09 | 2.00E+08 | $1,500 | $1,500 | 1.333E+08 |

Cost conversions from dollars in each year to 1998 dollars are based on the ratio of the consumer price indices (CPI) for the respective years, based on CPI data as recorded by the Woodrow Federal Reserve Bank of Minneapolis. See their web site, <http://woodrow.mpls. frb .fed.us/economy/calc/cpihome.html>.

Charles Babbage designed the Analytical Engine in the 1830s and continued to refine the concept until his death in 1871. Babbage never completed his invention. I have estimated a date of 1900 for the Analytical Engine as an estimated date for when its mechanical technology became feasible, based on the availability of other mechanical computing technology available in that time period.

Sources for the chart "The Exponential Growth of Computing, 1900-1998" include the following:

25 Years of Computer History
<http://www.compros.com/timeline.html>
BYTE Magazine "Birth of a Chip"
<http://www.byte.com/art/9612/sec6/art2.htm>
cdc.html@www.citybeach.wa.edu (Stretch)
<http://www.citybeach.wa.edu.au/lessons/history/video/sunedu/computer/cdc.html>
Chronology of Digital Computing Machines
<http://www.best.com/~wilson/faq/chrono.html>
Chronology of Events in the History of Microcomputers <http://www3.islandnet.com/~kpolsson/comphist/comp1977.htm>
The Computer Museum History Center
<http://www.tcm.org/html/history/index.html>
delan at intopad.eecs.berkeley.edu
<http://infopad.eecs.berkeley.edu/CIC/summary/delan>
Electronic Computers Within the Ordnance Corps
<http://ftp.arl.mil/~mike/comphist/61ordnance/index.html>
General Processor Information
<http://infopad.eecs.berkeley.edu/CIC/summary/local/>
The History of Computing at Los Alamos
<http://bang.lanl.gov/video/sunedu/computer/comphist.html>
The Machine Room
<http://www.tardis.ed.ac.uk/~alexios/MACHINE-ROOM/>
Mind Machine Web Museum
<http://userwww.sfsu.edu/~hl/mmm.html>
Hans Moravec at Carnegie Mellon University: Computer Data <http://www.frc.ri.cmu.edu/~hpm/book97/ch3/processor.list>
PC Magazine Online: Fifteen Years of PC Magazine
<http://www.zdnet.com/pcmag/special/anniversary/>
PC Museum
<http://www.microtec.net/~dlessard/index.html>
PDP-8 Emulation
<http://csbh.mhv.net/~mgraffam/emu/pdp8.html>
Silicon Graphics Webpage press release
<http://www.pathfinder.com/money/latest/press/PW/1998jun16/270.html>
Stan Augarten, **Bit by Bit: An Illustrated History of Computers** (New York: Ticknor & Fields, 1984).

International Association of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), "Annals of the History of the Computer," vol. 9, no. 2, pp. 150-153 (1987).
IEEE, vol. 16, no. 3, p. 20 (1994).
Hans Moravec, **Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence** (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988).
René Moreau, **The Computer Comes of Age** (Cambridge, MA: MIT Press, 1984).

20. For additional views on the future of computer capacity, see: Hans Moravec, **Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence** (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988); and "An Interview with David Waltz, Vice President, Computer Science Research, NEC Research Institute" at Think Quest's web page <http://tqd.advanced.org/2705/waltz.html>. I also discuss this subject in my book The Age of Intelligent Machines (Cambridge, MA: MIT Press, 1990), 401-419. These three sources discuss the exponential growth of computing.
21. A mathematical theory concerning the difference between information and noise and the ability of a communications channel to carry information.
22. The Santa Fe institute has played a pioneering role in developing concepts and technology related to complexity and emergent systems. One of the principal developers of paradigms associated with chaos and complexity has been Stuart Kauffman. Kauffman's **At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity** (Oxford: Oxford University Press, 1995) looks "at the forces for order that lie at the edge of chaos" (from the card catalog description).

    In his book **Evolution of Complexity by Means of Natural Selection** (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1988), John Tyler Bonner asks the question: "How is it that an egg turns into an elaborate adult? How is it that a bacterium, given many millions of years, could have evolved into an elephant?>

    John Holland is another leading thinker from the Sante Fe Institute in the emerging field of complexity. His book **Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity** (Reading, MA: Addison-Wesley, 1996) presents a series of lectures that Holland presented at the Santa Fe Institute in 1994.

Also see John H. Holland, Emergence: From Chaos to Order (Reading, MA: Addison-Wesley, 1998) and M. Mitchell Waldrop, Complexity: The Emerging **Science at the Edge of Order and Chaos** (New York: Simon and Schuster, 1992).

## الفصل الثاني: ذكاء التطور

1. In the early 1950s, the chemical composition of DNA was already known. At that time, the important questions were: How is the DNA molecule constructed? How does DNA accomplish its work? These questions would be answered in 1953 by James D. Watson and Francis H. C. Crick.

   Watson and Crick wrote "The Molecular Structure of Nucleic Acid: A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid" published in the April 25, 1953 issue of Nature. For more information on the race by various research groups to discover the molecular structure of DNA, read Watson's book, **The Double Helix** (New York: Atheneum Publishers, 1968).
2. Translation starts by unwinding a region of DNA to expose its code. A strand of messenger RNA (mRNA) is created by copying the exposed DNA base-pair codes. The appropriately named messenger RNA records a copy of a portion of the DNA letter sequence and travels out of the nucleus into the cell body. There the mRNA encounters a ribosome molecule, which reads the letters encoded in the mRNA molecules and then, using another set of molecules called transfer RNA (tRNA), actually builds protein chains one amino acid at a time. These proteins are the worker molecules that perform the cell's functions. For example, hemoglobin, which is responsible for carrying oxygen in the blood from the lungs to the body's tissues, is a sequence of 500 amino acids. With each amino acid requiring three nucleotide letters, the coding for hemoglobin requires 1,500 positions on the DNA molecule. Molecules of hemoglobin, incidentally, are created 500 trillion times a second in the human body, so the machinery is quite efficient.
3. The goal of the Human Genome Project is to construct detailed genetic sequence maps of the 50,000 to 100,000 genes in the human genome, and to provide information about the overall structure and sequence of the DNA of humans and of other animals. The project began in the mid-1980s. The web site of the Human Genome Project, <http://www.nhgri.nih.gov/HGP/>, contains "information on the background of the project", current and future goals, and detailed explanations on the structure of DNA.
4. Thomas Ray's work is described in an article by Joe Flower, "A Life in Silicon." **New Scientist** 150, no. 2034 (June 15, 1996): 32-36. Dr. Ray also has a web site with updates on his software-based evolution at <http://www.hip.atr.co.jp/~ray/>.
5. A selection of books exploring the nature of intelligence includes: H. Gardner, **Frames of Mind** (New York: Basic Books, 1983); Stephen Jay

Gould, **The Mismeasure of Man** (New York: Basic Books, 1983); R. J. Herrnstein and C. Murray, **The Bell Curve** (New York: The Free Press, 1994); R. Jacoby and N. Glaubennan, eds., **The Bell Curve Debate** (New York: Times Books, 1995).

6. To further explore the theories of expansion and contraction of the Universe, see: Stephen W. Hawking, **A Brief History of Time** (New York: Bantam Books, 1988); and Eric L. Lerner, **The Big Bang Never Happened** (New York: Random House, 1991). For the latest updates, see the International Astronomical Union (IAU) web site at <http://www.intastun.org/>, as well as the above noted "Introduction to Big Bang Theory" at <http://www.bowdoin.edu/dept/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>.
7. See chapter 3, "Of Mind and Machines," including the box "The View from Quantum Mechanics."
8. Peter Lewis, "Can Intelligent Life Be Found? Gorilla Will Go Looking." New York Times, April 16, 1998.
9. Voice Xpress Plus from the Dictation Division of Lernout & Hauspie Speech Products (formerly Kurzweil Applied Intelligence) allows users to give "natural language" commands to Microsoft Word. It also provides large-vocabulary continuous-speech dictation. The program is "mode-less," so users do not need to indicate when they are giving commands. For example, if the user says: "I enjoyed my trip to Belgium last week. Make this paragraph four points bigger. Change its font to Arial. I hope to go back to Belgium soon." Voice Xpress Plus automatically determines that the second and third sentences are commands and will carry them out (rather than transcribing them). It also determines that the first and fourth sentences are not commands, and will transcribe them into the document.

## الفصل الثالث: حول العقل والآلات

1. To learn more about the current state of brain-scanning research, the article "Brains at Work: Researchers Use New Techniques to Study How Humans Think" by Vincent Kiernan is a good place to begin. **This article, in the Chronicle of Higher Education** (January 23, 1998, vol. 44, no. 20, pp. A16-17), discusses uses of MRI to map brain activity during complex thinking processes.

   "Visualizing the Mind" by Marcus E. Raichle in the April 1994 **Scientific American** provides background on various brain-imaging technologies: MRI, positron emission tomography (PET), magnetoencephalography (MEG), and electroencephalography (EEG).

"Unlocking the Secrets of the Brain" by Tabitha M. Powledge is a two-part article in the July-August issue of **Bioscience** 47 (pp. 330-334 and 403-409), 1997.

2. Blood-forming cells of the bone marrow and certain layers of the skin grow and reproduce frequently, replenishing themselves in a period of months. In contrast, muscle cells do not reproduce for several years. Neurons have not been considered to reproduce at all after one's birth, but recent findings indicate the possibility of primate neuron reproduction. Dr. Elizabeth Gould of Princeton University and Dr. Bruce S. McEwen of Rockefeller University in New York found that adult marmoset monkeys are able to manufacture brain cells in the hippocampus, a brain region that is connected to learning and memory. Conversely, when the animals are under stress, the ability to manufacture new brain cells in the hippocampus diminishes. This research is described in an article by Gina Kolata, "Studies Find Brain Grows New Cells," **The New York Times**, March 17, 1998.

   Other types of cells will grow and reproduce if necessary. For example, if seven-eighths of the liver cells are removed, the remaining cells will grow and reproduce until most of the cells are replenished. Arthur Guyton, **Physiology of the Human Body**, fifth edition (Phila., PA: W. B. Saunders, 1979): 42-43.
3. Oppression of human races, nationalities, and other groups has often been justified in the same way.
4. Plato's works are available in Greek and English in the Loeb Classical Library editions. A detailed account of Plato's philosophy is presented in J. N. Findlay, **Plato and Platonism: An Introduction.** On the dialogues as Plato's chosen form, see D. Hyland's "Why Plato Wrote Dialogues." **Philosophy and Rhetoric** 1 (1968): 38-50.
5. A brief history of logical positivism can be found in A. J. Ayer, **Logical Positivism** (New York: Macmillan, 1959): 3-28.
6. David J. Chalmers distinguishes "between the easy problems and the hard problem of consciousness," and argues that "the hard problem eludes conventional methods of explanation entirely" in an essay entitled "Facing Up to the Problem of Consciousness." Stuart R. Hameroff, ed., **Toward a Science of Consciousness: The First Tucson Discussions and Debates (Complex Adaptive Systems)** (Cambridge, MA: MIT Press, 1996).
7. This objective view was systematically defined early in the twentieth century by Ludwig Wittgenstein in an analysis of language called logical positivism. This philosophical school, which would subsequently influence the emergence of computational theory and linguistics, drew its inspiration from Wittgenstein's first major work, **the Tractatus**

**Logico-Philosophicus.** The book was not an immediate hit and it took the influence of his former instructor, Bertrand Russell, to secure a publisher.

In a foreshadowing of early computer-programming languages, Wittgenstein numbered all of the statements in his **Tractatus** indicating their position in the hierarchy of his thinking. He starts out with statement 1: "The world is all that is the case," indicating his ambitious agenda for the book. A typical statement is number 4.0.0.3. 1: "All philosophy is a critique of language." His last statement, number 7, is "What we cannot speak about we must pass over in silence." Those who trace their philosophical roots to the early Wittgenstein still regard this short work as the most influential work of philosophy of the past century. Ludwig Wittgenstein, **Tractatus Logico-Philosophicus,** translated by D. E Pears and B. E McGuiness, Germany, 1921.

8. In the preface to **Philosophical Investigations,** translated by G. E. M. Anscombe, Wittgenstein "acknowledges" that he made "grave mistakes" in his earlier work, the Tractatus.
9. For a useful overview of Descartes's life and work, see **The Dictionary of Scientific Biography,** vol. 4, pp. 55-65. Also, Jonathan Rée's **Descartes** presents a unified view of Descartes's philosophy and its relation to other systems of thought.
10. Quoted from Douglas R. Hofstadter, **Gödel, Escher Bach: An Eternal Golden Braid** (New York: Basic Books, 1979).
11. "Computing Machinery and Intelligence," Mind 59 (1950); 433-460, reprinted in E. Feigenbaum and J. Feldman, eds., Computers and Thought (New York: McGraw-Hill, 1963).
12. For a description of quantum mechanics, read George Johnson, "Quantum Theorists Try to Surpass Digital Computing," **New York Times,** February 18, 1997.

## الفصل الرابع: نوع جديد من الذكاء الأرضي

1. Simple calculating devices had been perfected almost two centuries before Babbage, starting with Pascal's Pascaline in 1642, which could add numbers, and a multiplying machine developed by Gottfried Wilhelm Leibniz a couple of decades later. But automating the computing of logarithms was far more ambitious than anything that had been previously attempted.

Babbage didn't get very far—he exhausted his financial resources, got into a dispute with the British government over ownership, had problems getting the unusual precision parts fabricated, and saw his

chief engineer fire all of his workmen and then quit himself. He was also beset with personal tragedies, including the death of his father, his wife, and two of his children.

The only obvious thing to do now, Babbage figured, was to abandon his "Difference Engine" and embark on something yet more ambitious: the world's first fully programmable computer. Babbage's new conception—the "Analytical Engine"—could be programmed to solve any possible logical or computational problem.

The Analytical Engine had a random-access memory (RAM) consisting of 1,000 "words" of 50 decimal digits each, equivalent to about 175,000 bits. A number could be retrieved from any location, modified, and stored in any other location. It had a punched-card reader and even included a printer, even though it would be another half century before either typesetting machines or typewriters were to be invented. It had a central processing unit (CPU) that could perform the types of logical and arithmetic operations that CPUS do today. Most important, it had a special storage unit for the software with a machine language very similar to those of today's computers. One decimal field specified the type of operation and another specified the address in memory of the operand. Stan Augarten, **Bit by Bit: An Illustrated History of Computers** (New York: Ticknor and Fields, 1984): 63-64.

Babbage describes the features of his machine in "On the Mathematical Powers of the Calculating Engine," written in 1837 and reprinted as appendix B in Anthony Hymans **Charles Babbage: Pioneer of the Computer** (Oxford: Oxford University Press, 1982). For biographical information on Charles Babbage and Ada Lovelace, see Hyman's biography and Dorothy Stein's book Ada: **A Life and a Legacy** (Cambridge, MA: MIT Press, 1985).

2. Stan Augarten, **Bit by Bit,** 63-64. Babbage's description of the Analytical Engine in "On the Mathematical Powers of the Calculating Engine," written in 1837, is reprinted as appendix B in Anthony Hyman's **Charles Babbage: Pioneer of the Computer** (Oxford: Oxford University Press, 1982).
3. Joel Shurkin, **in Engines of the Mind,** p. 104, describes Aiken's machine as "an electro-mechanical Analytical Engine with IBM card handling." For a concise history of the development of the Mark I, see Augarten's **Bit by Bit,** 103-107. 1. Bernard Cohen provides a new perspective on Aiken's relation to Babbage in his article "Babbage and Aiken," **Annals of the History of Computing** 10 (1988): 171-193.
4. The idea of the punched card, which Babbage borrowed from the Jacquard looms (automatic weaving machines controlled by punched metal cards), also survived and formed the basis for automating

the increasingly popular calculators of the nineteenth century. This culminated in the 1890 U.S. census, which was the first time that electricity was used for a major data-processing project. The punched card itself survived as a mainstay of computing until the 1970s.

5. Turing's Robinson was not a programmable computer. It didn't have to be—it had only one job to do. The first programmable computer was developed by the Germans. Konrad Zuse, a German civil engineer and tinkerer, was motivated to ease what he later called those "awful calculations required of civil engineers." Like Babbage's, his first device, the Z-1, was entirely mechanical—built from an erector set in his parents' living room. The Z-2 used electromechanical relays and was capable of solving complex simultaneous equations. It was his third version—the Z-3—that is the most historic. It stands as the world's first programmable computer. As one would retroactively predict from the Law of Accelerating Returns as applied to computation, Zuse's Z-3 was rather slow—a multiplication took more than three seconds.

    While Zuse received some incidental support from the German government and his machines played a minor military role, there was little, if any, awareness of computation and its military significance by the German leadership. This explains their apparent confidence in the security of their Enigma code. Instead the German military gave immensely high priority to several other advanced technologies, such as rocketry and atomic weapons.

    It would be Zuse's fate that no one would pay much attention to him or his inventions; even the Allies ignored him after the end of the war. Credit for the world's first programmable computer is often given to Howard Aiken, despite the fact that his Mark I was not operational until nearly three years after the Z-3. When Zuse's funding was withdrawn in the middle of the war by the Third Reich, a German officer explained to him that "the German aircraft is the best in the world. I cannot see what we could possibly calculate to improve on."

    Zuse's claim to having built the world's first operational fully programmable digital computer is supported by the patent application he filed. See, for instance, K. Zuse, "Verfahren zur Selbst Atigen Durchfurung von Rechnungen mit Hilfe von Rechenmaschinen," German Patent Application Z23624, April 11, 1936. Translated extracts, titled "Methods for Automatic Execution of Calculations with the Aid of Computers," appear in Brian Randell, ed., The Origins of Digital Computers, pp. 159-166.

6. "Computing Machinery and Intelligence," **Mind** 59 (1950): 433-460, reprinted in E. Feigenbaum and J. Feldman, eds., **Computers and Thought** (New York: McGraw-Hill, 1963).

7. See A. Newell, J. C. Shaw, and H. A. Simon, "Programming the Logic Theory Machine," **Proceedings of the Western Joint Computer Conference,** 1957, pp. 230-240:
8. Russell and Whitehead's **Principia Mathematica** (see reference at the end of this endnote), first published in 1910-1913, was a seminal work that reformulated mathematics based on Russell's new conception of set theory. Russell's breakthrough in set theory set the stage for Turing's subsequent development of computational theory based on the Turing machine (see note below). Following is my version of "Russell's paradox," which stimulated Russell's discovery:

Before ending up in "the Other Place," our friend the gambler had lived a rough life. He was short of temper and not fond of losing. In our story, he is also a bit of a logician. This time he has picked the wrong man to dispatch. If only he had known that the fellow was the judge's nephew.

Known anyway as a hanging judge, the magistrate is furious and wishes to mete out the most severe sentence he can think of. So he tells the gambler that not only is he sentenced to die but the sentence is to be carried out in a unique way. "First off, we're gonna dispense with you quickly, just like you done with the victim. This punishment must be carried out no later than Saturday. Furthermore, I don't want you preparing yourself for the judgment day. On the morning of your execution, you won't know for certain that the day is at hand. When we come for you, it'll be a surprise."

To which the gambler replies, "Well, that's great, judge, I am greatly relieved."

To which the judge exclaims, "I don't understand, how can you be relieved? I have condemned you to be executed. I have ordered that the sentence be carried out soon, but you'll be unable to prepare yourself because on the morning that we carry it out, you won't know for certain that you'll be dying that day."

"Well, Your Honor," the gambler points out, "in order for your sentence to be carried out, I cannot be executed on Saturday."

"Why is that?" asks the judge.

"Because since the sentence must be carried out by Saturday, if we actually get to Saturday, I will know for certain that I am to be executed on that day, and thus it would not be a surprise."

"I suppose you are right," replies the judge. "You cannot be executed on Saturday But I still don't see why you're relieved."

"Well, if we have definitely ruled out Saturday, then I can't be executed on Friday either."

"Why is that?" asks the judge, being a little slow.

"We have agreed that I can't be executed on Saturday therefore Friday is the last day I can be executed. But if Friday rolls around, I will definitely know that I am to be executed on that day and therefore it would not be a surprise. So I can't be executed on Friday."

"I see," says the judge.

"Thus the last day I can be executed would be Thursday But if Thursday rolls around, I would know I had to be executed on that day, and thus it would not be a surprise. So Thursday is out. By the same reasoning, we can eliminate Wednesday, Tuesday, Monday, and today."

The judge scratches his head as the confident gambler is led back to his prison cell.

There is an epilogue to the story. On Thursday, the gambler is taken to be executed. And he is very surprised. So the judge's orders are successfully carried out.

This is my version of what has become known as "Russell's paradox" after Bertrand Russell, perhaps the last person to secure major achievements in both mathematics and philosophy. If we analyze this story, we see that the conditions that the judge has set up result in a conclusion that none of the days comply, because, as the prisoner so adroitly points out, each one of them in turn would not be a surprise. But the conclusion itself changes the situation, and now surprise is possible again. This brings us back to the original situation in which the prisoner could (in theory) demonstrate that each day in turn would be impossible, and so on, ad infinitum. The judge applies "Alexander's solution" in which King Alexander slashed the hopelessly tied Gordian knot.

A simpler example, and the one that Russell actually struggled with, is the following question about sets. A set is a mathematical construct that, as its name implies, is a collection of things. A set may include chairs, books, authors, gamblers, numbers, other sets, themselves, whatever. Now consider set A, which is defined to contain all sets that are not members of themselves. Does set A contain itself?

As we consider this famous problem, we realize there are only two possible answers: Yes and No. We can, therefore, try them all (this is not the case for most problems in mathematics). So let's consider Yes. If the answer is Yes, then set A does contain itself. But if set A contains itself, then according to its defining condition, set A would not belong to set A, and thus it does not belong to itself. Since the answer of Yes led to a contradiction, it must be wrong.

So let's try No. If the answer is No, then set A does not contain itself. But again according to the defining condition, if set A does not belong to itself, then it would belong to set A, another contradiction. As with the story about the prisoner, we have incompatible propositions that imply one another. Yes implies No, which yields Yes, and so on.

This may not seem like a big deal, but to Russell it threatened the foundation of mathematics. Mathematics is based on the concept of sets, and the issue of inclusion (i.e., what belongs to a set) is fundamental to the idea. The definition of set A appears to be a reasonable one. The question of whether set A belongs to itself also appears reasonable. Yet we have difficulty coming up with a reasonable answer to this reasonable question. Mathematics was in big trouble.

Russell pondered this dilemma for more than a decade, nearly exhausting himself and wrecking at least one marriage. But he came up with an answer. To do so, he invented the equivalent of a theoretical computer (although not by name). Russell's "Computer" is a logic machine and it implements one logical transformation at a time, each one requiring a quantum of time—so things don't happen all at once. Our question about set A is examined in an orderly fashion. Russell turns on his theoretical computer (which, lacking a real computer, ran only in his head) and the logical operations are "executed" in turn. So at one point, our answer is Yes, but the program keeps running, and a few quantums of time later the answer becomes No. The program runs in an infinite loop, constantly alternating between Yes and No.

But the answer is never Yes and No at the same time!

Impressed? Well Russell was very pleased. Eliminating the possibility of the answer being Yes and **No at the same time** was enough to save mathematics. With the help of his friend and former tutor Alfred North Whitehead, Russell recast all of mathematics in terms of his new theory of sets and logic, which they published in their **Principia Mathematica** in 1910-1913. It is worth pointing out that the concept of a computer, theoretical or otherwise, was not widely understood at the time. The nineteenth-century efforts of Charles Babbage, which are discussed in chapter 4, were largely unknown at the time. It is not clear if Russell was aware of Babbage's efforts. Russell's highly influential and revolutionary work invented a logical theory of computation and recast mathematics as one of its branches. Mathematics was now part of computation.

Russell and Whitehead did not explicitly talk about computers but cast their ideas in the mathematical terminology of set theory. It was left to Alan Turing to create the first theoretical computer in 1936, in his Turing machine (see note 16 below).

Alfred N. Whitehead and Bertrand Russell, **Principia Mathematica,** 3 vols., second edition (Cambridge: Cambridge University Press, 1925-1927). (The first edition was published in 1910, 1912, and 1913.)

Russell's paradox was first introduced in Bertrand Russell, **Principles of Mathematics** (Reprint, New York: W. W. Norton & Company, 1996), 2nd ed., 79-81. Russell's paradox is a subtle variant of the Liar Paradox. See E. W. Beth, **Foundations of Mathematics** (Amsterdam: North Holland, 1959), p. 485.

9. "Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research," **Journal of the Operations Research Society of America 6,** no. 1 (1958), reprinted in Herbert Simon, **Models of Bounded Rationality,** vol. 1, Economic Analysis and Public Policy (Cambridge, MA: MIT Press, 1982).
10. "A Mean Chess-Playing Computer Tears at the Meaning of Thought," **New York Times,** February 19, 1996, contains the reactions of Gary Kasparov and a number of noted thinkers concerning the ramifications of Deep Blue beating the world chess champion.
11. Daniel Bobrow, "Natural Language Input for a Computer Problem Solving System," in Marvin Minsky, **Semantic Information Processing,** pp. 146-226.
12. Thomas Evans, "A Program for the Solution of Geometric-Analogy Intelligence Test Questions," in Marvin Minsky, ed., **Semantic Information Processing** (Cambridge, MA: MIT Press, 1968), pp. 271-353.
13. Robert Lindsay, Bruce Buchanan, Edward Feigenbaum, and Joshua Lederberg describe DENDRAL in **Applications of Artificial Intelligence for Chemical Inference: The DENDRAL Project** (New York: McGraw-Hill, 1980). For a brief and clear explanation of the essential mechanisms behind DENDRAL, see Patrick Winston, **Artificial Intelligence** (1984), pp. 1637164, 195-197.
14. For many years SHRDLU was cited as a prominent accomplishment of artificial intelligence. Winograd describes his research in his thesis **Understanding Natural Language** (New York: Academic Press, 1972). A brief version appears as "A Procedural Model of Thought and Language," in Roger Schank and Kenneth Colby, eds., **Computer Models of Thought and Language** (San Francisco: W. H. Freeman, 1973).
15. Haneef A. Fatmi and R. W. Young, "A Definition of Intelligence," **Nature** 228 (1970): 91.
16. Alan Turing showed that the essential basis of computation could be modeled with a very simple theoretical machine. He created the first theoretical computer in 1936 (first introduced in Alan M. Turing, "On Computable Numbers with an Application to the Entschemungs Problem," **Proc. London Math. Soc.** 42 [1936]: 230-265) in an eponymous

conception called the Turing machine. As with a number of Turing's breakthroughs, he would have both the first and last word. The Turing machine represented the founding of modern computational theory. It has also persisted as out primary theoretical model of a computer because of its combination of simplicity and power.

The Turing machine is one example of the simplicity of the foundations of intelligence. A Turing machine consists of two primary (theoretical) units: a tape drive and a computation unit. The tape drive has a tape of infinite length on which it can write, and (subsequently) read, a series of two symbols: zero and one. The computation unit contains a program consisting of a sequence of commands, drawing from only seven possible operations:

- Read the tape
- Move the tape left one symbol
- Move the tape right one symbol
- Write 0 on the tape
- Write 1 on the tape
- Jump to another command
- Halt

Turing was able to show that this extremely simple machine can compute anything that any machine can compute, no matter how complex. If a problem cannot be solved by a Turing machine, then it cannot be solved by any machine. Occasionally there are challenges to this position, but in large measure it has stood the test of time.

In the same paper, Turing reports another unexpected discovery, that of unsolvable problems. These are problems that are well defined with unique answers that can be shown to exist, but that we can also prove can never be computed by a Turing machine—that is to say by any machine, yet another reversal of what had been a nineteenth-century confidence that problems that could be defined would ultimately be solved. Turing showed that there are as many unsolvable problems as solvable ones.

Turing and Alonzo Church, his former professor, went on to assert what has become known as the Church-Turing thesis: If a problem that can be presented to a Turing machine is not solvable by one, then it is also not solvable by human thought. "Strong" interpretations of the Church-Turing thesis propose an essential equivalence between what a human can think or know and what is computable by a machine. The Church-Turing thesis can be viewed as a restatement in mathematical terms of one of Wittgenstein's primary theses in his Tractatus. The

basic idea is that the human brain is subject to natural law, and thus its information-processing ability cannot exceed that of a machine. We are thus left with the perplexing situation of being able to define a problem, to prove that a unique answer exists, and yet know that the answer can never be known.

Perhaps the most interesting unsolvable problem is called the Busy Beaver, which may be stated as follows: Each Turing machine has a certain number of commands in its program. Given a positive integer n, we construct all of the Turing machines that have n states (i.e., n commands). Next we eliminate those n-state Turing machines that get into an infinite loop (i.e., never halt). Finally, we select the machine (one that halts) that writes the largest number of 1s on its tape. The number of Is that this Turing machine writes is called busy beaver of n.

Tibor Rado, a mathematician and admirer of Turing, showed that there is no algorithm. (that is, no Turing machine) that can compute the busy beaver function for all n's. The crux of the problem is sorting out those n-state Turing machines that get into infinite loops. If we program a Turing machine to generate and simulate every possible n-state Turing machine, this simulator itself goes into an infinite loop when it attempts to simulate one of the n-state Turing machines that gets into an infinite loop. Busy beaver can be computed for some ns, and interestingly it is also an unsolvable problem to separate those ns for which we can determine busy beaver of n from those for which we cannot.

Busy beaver is an "intelligent function." More precisely stated, it is a function that requires increasing intelligence to compute for increasing arguments. As we increase n, the complexity of the processes needed to compute busy beaver of n increases.

With n = 6, we are dealing with addition and busy beaver of 6 equals 35. In other words, addition is the most complex operation that a Turing machine with only 6 steps in its program is capable of performing. At 7, busy beaver learns to multiply and busy beaver of 7 equals 22,961. At 8, busy beaver can exponentiate, and the number of 1s that our eighth busy beaver writes on its tape is approximately 1043. Note that this is even faster growth than Moore's Law. By the time we get to 10 we need an exotic notation in which we have a stack of exponents (10 to the 10 to the 10, etc.), the height of which is determined by another stack of exponents, the height of which is determined by another stack of exponents, and so on. For the twelfth busy beaver we need an even more exotic notation. Human intelligence (in terms of the complexity of mathematical operations that we can understand) is surpassed well

before the busy beaver gets to 100. The computers of the twenty-first century will do a bit better.

The busy beaver problem is one example of a large class of noncomputable functions, as one can see from Tibor Rado, "On Noncomputable Functions," **Bell System Technical Journal** 41, no. 3 (1962): 877-884.

17. Raymond Kurzweil, **The Age of Intelligent Machines** (Cambridge, MA: MIT Press, 1990), pp. 132-133.
18. H. J. Berliner, "Backgammon Computer Program Beats World Champion," **Artificial Intelligence** 14, no. 1 (1980). Also see Hans Berliner, "Computer Backgammon," **Scientific American,** June 1980.
19. To download Ray Kurzweil's Cybernetic Poet (RKCP), go to: <http://www.kurzweiltech.com>. RKCP is further discussed in the section **The Creative Machine** in chapter 8, "1999."
20. See the discussion on these music composition programs in the section **The Creative Machine** in chapter 8, "1999."
21. See W. S. Sarle, ed., "Neural Network Frequently Asked Questions," <ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>. This web site has, numerous resources on past and current research on neural nets. G. E. Hinton's "How Neural Networks Learn from Experience," in the September 1992 issue of **Scientific American** (144-151), also provides a good introduction to neural networks.
22. Researchers at the Productivity from Information Technology (PROFIT) Initiative at MIT have studied the effectiveness of neural networks in understanding handwriting.

    The PROFIT Initiative is based at MIT's Sloan School of Management. The mission of the initiative is to study how the private and public sectors use information technology. Abstracts of working papers on this and other research on neural networks and data mining can be found at <http://scanner-group.mit.edu/papers.html>.
23. "Miros, Inc. is located in Wellesley, Massachusetts, and specializes in providing face recognition software. Miros I products include Trueface PC, the first face recognition solution for computer, network and data security; and Trueface Gatewatch, a complete hardware/software security solution that allows or denies access to buildings and rooms by automatically recognizing a person's face taken by a video camera." From Miros Company Information at <http://www.miros.com/About_Miros.htm>.
24. For more information on Brainmaker's aptitude to diagnose illnesses, and to predict the Standard and Poor 500 for LBS Management, see California Scientific's home page at <http://www.calsci.com/>.

25. The reset time stated here is an estimated average for neural connection calculations. For example, Vadim Gerasimov estimates the peak firing frequency of neurons (which significantly exceeds the average rate) to be 250-2,000 Hz (0.5-4 ms intervals) in "Information Processing in the Human Body" at <http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html>. The firing time is affected by a number of variables, including, for example, the level and duration of a sound, as discussed in Jos. J. Eggermont, "Firing Rate and Firing Synchrony Distinguish Dynamic from Steady State Sound," **Neuroreport 8,** issue 12, 2709-2713.
26. Hugo de Garis maintains a web site on his research for ATRS Brain Builder Group at <http://www.hip.atr.co.jp/~degaris/>.
27. For an intriguing account of this research, read Carver Mead, **Analog VSLI and Neural Systems** (Reading, MA: Addison-Wesley, 1989), 257-278. Synaptics is briefly highlighted in Carol Levin, "Here's Looking at You," **PC Magazine** (December 20, 1994): 31. Carver Mead's web site also provides detailed information on this research at the "Physics of Computation-Carver Mead's Group" at <http://www.pcmp.caltech.edu/>.
28. The SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) Institute conducts research on other signs of life in the Universe, its primary goal being the search for extraterrestrial intelligence. The institute is a nonprofit research organization, funded by government agencies, private foundations, and individuals, which in turn provides funding for several dozen projects. For more information, see the SETI Institute web site, <http://www.seti.org>.
29. The author is dictating portions of this book to his computer through the continuous speech recognition program called Voice Xpress Plus from the dictation division of Lernout & Hauspie (formerly Kurzweil Applied Intelligence). See note 9 on Voice Xpress Plus in chapter 2 for more information.
30. To find out more on State Street Global Advisor's purchase in a majority stake in Advanced Investment Technology, read Frank Byrt, "State Street Global Invests in Artificial Intelligence." **Dow Jones Newswires,** October 29, 1997. The genetic algorithm system used by the AIT Vision mutual fund is described in S. Mahfoud and G. Mani, "Financial Forecasting Using Genetic Algorithms." **Applied Artificial Intelligence** 10 (1996): 543-565. The AIT Vision mutual fund opened at the beginning of 1996 and has publicly available performance numbers. In its first full calendar year (1996), the mutual fund increased 27.2 percent in net asset value, compared to 21.2 percent for its benchmark, the Russell 3000 index.

It should be noted that outperforming its benchmark index does not in itself prove a superior level of decision making. The algorithm may have been making higher-risk investments (on average) than the average in the index.

31. There are many online resources on evolutionary computation and evolutionary and genetic algorithms. One of the best is "The Hitchhiker's Guide to Evolutionary Computation: A List of Frequently Asked Questions (FAQ)," edited by Jorg Heitkotter and David Beasley at <http://www.cs.purdue.edu/coast/archive/clife/FAQ/www/>. This guide includes everything from a glossary to links to various research groups.

    Another helpful online resource is the web site for the Santa Fe Institute. The institute's web site can be accessed at <http://www.santafe.edu>.

    For an offline introduction to genetic algorithms, read John Holland's article "Genetic Algorithms," **Scientific American 267,** no. 1 (1992): 66-72. As mentioned in note 22 in chapter 1, Holland and his colleagues at the University of Michigan developed genetic algorithms in the 1970s.

    For more information on the use of genetic algorithm technology to manage the development and manufacturing of Volvo trucks, read Srikumar S. Rao, "Evolution at Warp Speed," **Forbes** 161, no. 1 (January 12, 1998): 82-83.

    See also note 22 on complexity in chapter 1.
32. See "Information Processing in the Human Body," by Vadim Gerasimov, at <http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html>.
33. See "Information Processing in the Human Body," by Vadim Gerasimov, at <http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html>.
34. I founded Kurzweil Applied Intelligence (Kurzweil AI) in 1982. The company is now a subsidiary of Lernout & Hauspie Speech Products (L&H), an international leader in the development of speech and language technologies and related applications and products. For more information about these speech recognition products, see <http://www.lhs.com/dictation/>.

## الفصل الخامس: السياق والمعرفة

1. Victor L. Yu, Lawrence M. Fagan, S. M. Wraith, William Clancey, A. Carlisle Scott, John Hannigan, Robert Blum, Bruce Buchanan, and Stanley Cohen, "Antimicrobial Selection by Computer: A Blinded

Evaluation by Infectious Disease Experts," **Journal of the American Medical Association** 242, no. 12 (1979): 1279-1282.

2. For an introduction to the development of expert systems and their use in various companies, read: Edward Feigenbaum, Pamela McCorduck, and Penny Nii, **The Rise of the Expert Company** (Reading, MA: Addison-Wesley, 1983).
3. William Martin, Kenneth Church, and Ramesh Patil, "Preliminary Analysis of a Breadth-First Parsing Algorithm: Theoretical and Experiential Results." MIT Laboratory for Computer Science, Cambridge MA, 1981. In this document, Church cites the synthetic sentence:

   "It was the number of products of products of products of products of products of products of products of products?" as having 1,430 syntactically correct interpretations.

   He cites the following sentence:

   "What number of products of products of products of products of products of products of products of products was the number products of products of products of products of products of products of products of products?" as having 1,430 x 1,430 = 2,044,900 interpretations.

4. These and other theoretical aspects of computational linguistics are covered in Mary D. Harris, **Introduction to Natural Language Processing** (Reston, VA: Reston Publishing Co., 1985).

## الفصل السادس: بناء أمخاخ جديدة ...

1. Hans Moravec is likely to make this argument in his 1998 book **Robot: Mere Machine to Transcendent Mind** (Oxford University Press; not yet available as of this writing).
2. One hundred fifty million calculations per second for a 1998 personal computer doubling twenty-seven times by the year 2025 (this assumes doubling both the number of components, and the speed of each component every two years) equals about 20 million billion calculations per second. In 1998, it takes multiple calculations on a conventional personal computer to simulate a neural-connection calculation. However, computers by 2020 will be optimized for the neural-connection calculation (and other highly repetitive calculations needed to simulate neuron functions). Note that neural-connection

calculations are simpler and more regular than the general-purpose calculations of a personal computer.

3. Five billion bits per $1,000 in 1998 will be doubled seventeen times by 2023, which is about a million billion bits for $1,000 in 2023.
4. NEC's goals to build a supercomputer with a maximum performance of more than 32 teraflops is chronicled in "NEC Begins Designing World's Fastest Computer," **Newsbytes News Network,** January 21, 1998, located online at <http://www.nb-pacifica.com/headline/necbeginsdesigningwo_1208.shtml>.

   In 1998, IBM was one of four companies chosen to participate in Pathforward, an initiative from the Department of Energy to develop supercomputers for the twenty-first century. Other companies involved in the project are Digital Equipment Corporation; Sun Microsystems, Inc.; and Silicon Graphics/Cray Computer Systems (SGI/Cray). Pathforward is part of the Accelerated Strategic Computing Initiative (ASCI). For more information on this initiative, see <http://www.llnl.gov/asci>.
5. By harnessing the accelerating improvement in both density of components and speed of components, computer power will double every twelve months, or a factor of one thousand every ten years. Based on the projection of $1,000 of computing being equal to the estimated processing power of the human brain (20 million billion calculations per second) by the year 2020, we get a projection of $1,000 of computing being equal to a million human brains in 2040, a billion human brains in 2050, and a trillion human brains in 2060.
6. By 2099, $1,000 of computing will equal 1024 times the processing power of the human brain. Based on an estimate of 10 billion persons, that is 1014 times the processing power of all human brains. Thus one penny of computing will equal 109 (one billion) times the processing power of all human brains.
7. In the Punctuated Equilibrium theories, evolution is seen to progress in sudden leaps followed by periods of relative stability. Interestingly, we often see similar behavior in the performance of evolutionary algorithms (see chapter 4).
8. Dean Takahashi, "Small Firms Jockeying for Position in 3D Chip Market," **Knight-Ridder/Tribune News Service,** September 21, 1994, p. 0921K4365.
9. The entire February 1998 issue of **Computer** (vol. 31, no. 2) explores the status of optical computing and optical storage methods.

   Sunny Bains writes of companies using optical computing for fingerprint recognition and other applications in "Small, Hybrid Digital/Electronic Optical Correlators Ready to Power Commercial Products: Optical Computing Comes into Focus." **EE Times,** January 26, 1998,

issue 990. This article is online at <http://www.techweb.com/se/directlink.cgi?EET19980126S0019>.

10. For a nontechnical introduction to DNA computing, read Vincent Kiernan, "DNA-Based Computers Could Race Past Supercomputers, Researchers Predict," in the **Chronicle of Higher Education** (November 28, 1997). Kiernan discusses the research of Dr. Robert Corn from the University of Wisconsin as well as the research of Dr. Leonard Adleman. The article can be accessed online at <http://chronicle.com/data/articles.dir/art-44.dir/issue-14.dir/1 4ao2301:htm>.

    Research at the University of Wisconsin can be accessed online at <http://corninfo.chem.wisc.edu/writings/DNACOMPUTING.html>.

    Leonard Adlenians "Molecular Computation of Solutions to Combinatorial Problems" from the November 11, 1994, issue of Science (vol. 266, p 1021) provides a technical overview of his design of DNA programming for computers.

11. Lambertus Hesselink's research is reported by Phillip F. Schewe and Ben Stein in **Physics News Update** (no. 219; March 28, 1995). The description is available online at <http://www.aip.org/enews/physnews/1995/split/pnu2l9-2.htm>.

12. For information on nanotubes and buckyballs, read Janet Rae-Dupree's article "Nanotechnology Could Be Foundation for Next Mechanical Revolution," **Knight-Ridder/Tribune News Service,** December 17, 1997, p. 1217K1133.

13. 13 Dr. Sumio Iijima's research on nanotubes is summarized in the following article at the NEC site, <http://www.labs.nec.co.jp/rdletter/letter01/index1.html>.

14. The research of Isaac Chuang and Neil Gershenfeld is reported in "Cue the Qubits: Quantum Computing," **The Economist** 342, no. 8005 (February 22, 1997): 91-92; and in an article by Dan Vergano, "Brewing a Quantum Computer in a Coffee Cup," Science News 151, no. 3 (January 18, 1997): 37. More technical details and a list of Chuang and Gershenfeld's publications can be found at the Physics and Media Group/MIT Media Lab <http://physics.www.media.mit.edu/publications/> and at the Los Alamos National Laboratory <http://qso.lanl.gov/qc/>.

    Other groups working on quantum computation include the Information Mechanics group at MIT's Lab for Computer Science <http://www-im.lcs.mit.edu/> and the Quantum Computation Group at IBM <http://www.research.ibm.com/quantuminfo/>.

15. "Student Cracks Encryption Code," **USA Today Tech Report,** September 2, 1997.

16. Mark Buchanan, "Light's Spooky Connections Set Distance Record," **New Scientist,** June 28, 1997.

17. Roger Penrose, **The Emperor's New Mind** (New York: Penguin USA, 1990).
18. To understand the concept of tunneling, it is important to understand how transistors on an integrated circuit chip work. An integrated chip is engraved with circuits comprised of thousands or millions of transistors, which electronic devices use to control the flow of electricity. Transistors are made up of a small block of a semiconductor, a material that acts as both an insulator and a conductor of electricity. The first transistors were comprised of germanium and were later replaced with silicon.

    Transistors work by holding a pattern of electric charge, allowing that pattern of charge to change millions of times every second. Tunneling refers to the ability of electrons (small particles that circle around the nucleus of an atom) to move or "tunnel" through the silicon. Electrons are said to tunnel through the barrier as a result of the quantum uncertainty as to which side of the barrier they are actually on.
19. Knowledge chunks would be greater than the number of distinct words because words are used in more than one way and with more than one meaning. Each different word meaning or usage is often referred to as a word "sense." it is likely that Shakespeare used more than 1 00,000 word senses.
20. Quoted from Douglas R. Hofstadter, **Gödel, Escher Bach: An Eternal Golden Braid** (New York: Basic Books, 1979).
21. Michael Winerip, "Schizophrenia's Most Zealous Foe," **New York Sunday Times,** February 22, 1998.
22. The goal of the Visible Human Project is to create highly detailed three-dimensional views of the male and female human body. The project is collecting transverse CT, MRI, and cryosection images. The web site is located at <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human .html>.
23. Researchers Mark Habener, Doron Shoham, Amiram Grinvald, and Tobias Bonhoeffer published their experiments on optical imaging in "Spatial Relationships among Three Columnar Systems in Cat Area 17," **Journal of Neuroscience** 17 (1997): 9270-9284.

    More information on this and other brain-imaging research is located at the Weizmann Institute's web site <http://www.weizmann. ac.il> and at Amiram Grinvald's web site <http://www.weizmann.ac.il/ brain/grinvald/grinvald.htm>.
24. The work of Dr. Benebid and other researchers is summarized in an online article, "Neural Prosthetics Come of Age as Research Continues," by Robert Finn, **The Scientist II,** no. 19 (September 29, 1997): 13,'16.

This article may be found at <http://www.the-scientist.library.upenn.edu/yr1997/sept/research_970929.html>.

25. From an April 1998 phone interview by the author with Dr. Trosch.
26. Dr. Rizzo's research is also reviewed in Finn's article, "Neural Prosthetics Come of Age as Research Continues."
27. To read more about the "neuron transistor," visit the web site of the Membrane and Neurophysics Department at the Max Planck Institute for Biochemistry <http://mnphys.biochem.mpg.de/>.
28. Robert Finyi, "Neural Prosthetics Come of Age as Research Continues."
29. Carver Mead's research is described at <http://www.pcmp.caltech.edu/>.
30. W. B. Yeats, "Sailing to Byzantium," from **Selected Poems and Two Plays of William Butler Yeats,** edited by M. L. Rosenthal (New York: Macmillan, 1966).

## الفصل السابع: ... وأجسام

1. Herbert Dreyfus is well known for his critique of artificial intelligence in his book **What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence** (New York: Harper and Row, 1979). Other theorists who may be considered to support the mind-beyond-machine perspective include J. R. Lucas and John Searle. See J. R. Lucas's "Minds, Machines and Gödel," **Philosophy 36** (1961): 120-124; and John Searle's "Mind, Brains, and Programs," **The Behavioral and Brain Sciences 3** (1980): 417-424. Also, see Searle's more recent book **The Rediscovery of the Mind** (Cambridge, MA: MIT Press, 1992).
2. "Researchers led by Dr. Clifford Steer at the University of Minnesota Medical School report in the current **Nature Medicine** that they have eliminated the need for viruses by harnessing the body's own genetic repair processes. In a landmark proof-of-concept experiment, the Minnesota team permanently altered a blood-clotting gene in 40 percent of the liver cells in a group of rats. The researchers started by splicing their DNA patch into a slip of RNA. Then they encased the hybrid molecule in a protective coating, laced it with sugars that seek out liver cells, and injected it into lab rats. True to plan, the hybrid molecules zeroed in on the targeted gene and lined up alongside it. An enzyme in the rats' own liver cells did the rest: Whenever it spotted a mismatched DNA, it simply removed the offending DNA and stitched in a replacement. Now the trick is to show that it will work with other tissues—and other species." From "DNA Therapy: The New, Virus-Free Way to Make Genetic Repairs." Time, March 16, 1998.

3. Hans Moravec, **Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence** (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988), p. 108.
4. Ralph Merkle's comments on nanotechnology can be found in an overview at his web site at the Xerox Palo Alto Research Center <http://sandbox .xerox.com/nano>. His site contains links to important publications on nanotechnology, such as Richard Feynman's 1959 talk and Eric Drexler's dissertation, as well as links to various research centers that focus on nanotechnology.
5. Richard Feynman presented these ideas on December 29, 1959, at the annual meeting of the American Physical Society at the California Institute of Technology (Cal Tech). His talk was first published in the February 1960 issue of Cal Tech's **Engineering and Science.** This article is available online at <http://nano.xerox.com/nanotech/feynman. html>.
6. Eric Drexler, **Engines of Creation** (New York: Anchor Press/Doubleday, 1986). The book is also accessible online from the Xerox nanotechnology site <http://sandbox.xerox.com/nano> and also from Drexler's web site at the Foresight institute <http://www.foresight.org/EOC/index.html>.
7. Eric Drexler, **Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation** (New York: John Wiley and Sons, 1992).
8. According to Nanothinc's web site <http://www.nanothinc.com/>, "Nanotechnology, broadly defined to include a number of nanoscale-related activities and disciplines, is a global industry in which more than 300 companies generate over $5 billion in annual revenues today—and $24 billion in 4 years." Nanothinc includes a list of companies and revenues upon which the figure is based. Some of the nanoapplications generating revenues are micromachines, microelectromechanical systems, autofabrication, nanolithography, nanotechnology tools, scanning probe microscopy, software, nanoscale materials, and nanophase materials.
9. Richard Smalley's publications and work on nanotechnology can be found at the web site for the Center for Nanoscale Science and Technology at Rice University <http://cnst.rice.edu/>.
10. For information on the use of nanotechnology in creating IBM's corporate logo, read Faye Flam, "Tiny Instrument Has Big Implications." **Knight-Ridder/Tribute News Service,** August 11, 1997, p. 811K7204.
11. Dr. Jeffrey Sampsell at Texas Instruments has written a white paper summarizing research on micromirrors, available at <http://www. ti.coni/dlp/docs/it/resources/white/overview/over.shtml>.
12. A description of the flying machines can be found at the web site of the MEMS (Microelectromechanical Systems) and Fluid Dynamics Research

Group at the University of California at Los Angeles (UCLA) <http://ho.seas.ucla.edu/new/main.htm>.

13. Xerox's nanotechnology research is described in Brian Santo, "Smart Matter Program Embeds Intelligence by Combining Sensing, Actuation, Computation-Xerox Builds on Sensor Theory for Smart Materials." **EETimes** (March 23, 1998):129. More information on this research can be found at the web site for the Smart Matter Research Group at Xerox's Palo Alto Research Center at <http://www.parc.xerox.com/spl/projects/smart-matter/>.
14. For information on the use of nanotechnology in creating the nanoguitar, read Faye Flar, "Tiny Instrument Has Big Implications." **Knight-Ridder/Tribune News Service.**
15. Learn more about the Chelyabinsk region by visiting the web site dedicated to helping the people living in that area at <http://www .logtv .com/chelya/chel.html>.
16. For more about the story behind Space War, see "A History of Computer Games," **Computer Gaming World** (November 1991): 16-26; and Eric S. Raymond, ed., **New Hacker's Dictionary** (Cambridge, MA: MIT Press, 1992). Space War was developed by Steve Russell in 1961 and implemented by him on the PDP-1 at MIT a year later.
17. Medical Learning Company is a joint venture between the American Board of Family Practice (an organization that certifies the sixty thousand family practice physicians in the United States) and Kurzweil Technologies. The goal of the company is to develop educational software for continuing medical education of physicians as well as other markets. A key aspect of the technology will include an interactive simulated patient that can be examined, interviewed, and treated.
18. Hall's Utility Fog concept is described in J. Storrs Hall, "Utility Fog Part I," **Extropy,** issue no. 13 (vol. 6, no. 2), third quarter 1994; and J. Storrs Hall, "Utility Fog Part 2," Extropy, issue no. 14 (vol. 71, no. 1), first quarter 1995. Also see Jim Wilson, "Shrinking Micromachines: A New Generation of Tools Will Make Molecule-Size Machines a Reality" **Popular Mechanics** 174, no. 11 (November 1997): 55-58.
19. Mark Yim, "Locomotion with a Unit-Modular Reconfigurable Robot," Stanford University Technical Report STAN-CS-TR-95-1536.
20. Joseph Michael, UK Patent #94004227.2.
21. For examples of early "prurient" text publications, see **A History of Erotic Literature** by Patrick J. Kearney (Hong Kong, 1982); and History Laid Bare by Richard Zachs (New York: Harpercollins, 1994).
22. **Upside Magazine,** April 1998.
23. For example, the "TFUI" (Touch-and-Feel User Interface) from Pixis, as used in their Diva and Space Sirens series of CD-ROMS.

24. From "Who Needs Jokes? Brain Has a Ticklish Spot," Malcolme W. Browne, New York Times, March 10, 1998. Also see 1. Fried (with C. L. Wilson, K. A. MacDonald, and E. J. Behnke), "Electric Current Stimulates Laughter," **Scientific Correspondence** 391: 650, 1998.
25. K. Blum et al., "Reward Deficiency Syndrome," **American Scientist,** March-April, 1996.
26. Brain Generated Music is a patented technology of Neurosonics, a small company in Baltimore, Maryland. The founder, CEO, and principal developer of the technology is Dr. Geoff Wright, who is head of computer music at Peabody Conservatory.
27. For details about Dr. Benson's work, see his book **The Relaxation Response** (New York: Avon,1990).
28. "God Spot' Is Found in Brain," **Sunday Times** (Britain), November 2, 1997.

## الفصل الثامن: ١٩٩٩

1. The U.S. Federal Government Gateway for Year 2000 Information Directories, at <http://www.itpolicy.gsa.gov/mks/yr2000/y2khome .htm>, contain a number of links to web pages devoted to Y2K issues. There are also many discussion groups on the Web about the Y2K topic. Simply do a search for "Y2K discussion" using a search engine such as Yahoo (www.yahoo.com) to find a number of web pages devoted to this subject.
2. David Cope talks about his EMI program in his book **Experiments in Musical Intelligence** (Madison, WI: A-R Editions, 1996). EMI is also discussed in Margaret Boden "Artificial Genius," **Discover magazine,** October 1996.
3. For more about the Improvisor program, see Margaret Boden, "Artificial Genius," Discover magazine, October 1996. The article addresses the question of who is the actual creator of original art produced by computer programs—the developer of the program or the program itself?
4. Laurie Flynn, "Program Proves Bad Puns Not Limited to Humans," **New York Times,** January 3, 1998.
5. "Paramind copies any text you type or paste into its screen and systematically merges your text with new words. The words are all related, such as adjectives related to sight, or adverbs related to walking. In the text that you type or paste in, a word or two is selected where these new words will fit in, in the way that you want. The result is a new listing of your idea changed in several fascinating ways." From the

Paramind Brainstorming Software web page at <http://www .paramind. net/>. For more information about other computer writing programs, see Marius Watz's web page called Computer Generated Writing at <http://www.notam.uio.no/~mariusw/c-g.writing/>.

6. More information on BRUTUS. 1 Story Generator and its inventors can be found at <http://www.rpi.edu/dept/ppcs/BRUTUS/brutus.html>.
7. Ray Kurzweil's Cybernetic Poet (RKCP) is a software program designed by Ray Kurzweil and developed by Kurzweil Technologies. You can download a copy of the program at <http://www.kurzweiltech.com>.
8. For examples of Mutator's artistic creations, visit the web site of Computer Artworks at <http://www.artworks.co.uk/welcome.htm>.

   Karl Sims has written several articles about his work, including "Artificial Evolution for Computer Graphics," **Computer Graphics** 25, no. 4 (July 1991): 319-328.
9. Drawings and paintings by Aaron, Harold Cohen's cybernetic artist, have hung at London's Tate Gallery, Amsterdam's Stedelijk Museum, the Brooklyn Museum, the San Francisco Museum of Modern Art, the Washington Capitol Children's Museum, and others.
10. Harold Cohen, "How to Draw Three People in a Botanical Garden," AAAI-88, **Proceedings of the Seventh National Conference on Artificial Intelligence,** 1988, pp. 846-855. Some of the implications of Aaron are discussed in Pamela McCorduck, "Artificial Intelligence: An Apercu," **Daedalus,** Winter 1988, pp. 65-83.
11. A list of sites on Cohen's Aaron can be found at <http://www.umcs. maine.edu/~larry/latour/aaron.html>. Also see Harold Cohen's article in "Constructions of the Mind" at <http://shr.stanford.edu/shreview/ 4-2/text/cohen.html>.
12. Raymond Kurzweil, **The Age of Intelligent Machines** (Cambridge, MA: MIT Press, 1990). Also see the publications section at the web site for Kurzweil Technologies at <http://www.kurzweiltech.com> and the publications section at the web site for Kurzweil Educational Systems at <http://www.kurzweiledu.com>.
13. Venture capital refers to funds available for investment by organizations that have raised pools of capital specifically to invest in companies, primarily new ventures. Angel capital refers to funds available for investment by networks of wealthy investors who invest in start-up companies. In the United States, both venture and angel capital have emphasized high-technology investments.
14. For a comprehensive list of available speech- and face-recognition products and research projects, go to The Face Recognition Home Page at <http://cherry.kist.re.kr/center/html/sites.html>.

15. For an excellent overview of this subject, see "The Intelligent Vehicle Initiative: Advancing "Human-Centered> Smart Vehicles," by Cheryl Little of the Volpe National Transportation Systems Center. This article is available through the Turner-Fairbank Highway Research Center web page at <http://www.tfhrc.gov/pubrds/pr97-10/p18.htm>. For details about the tests on Interstate 15 in California, go to National AHS Consortium Home Page at <http://monolith-mis.com/ahs/default.htm>.
16. For example, Voice Xpress Plus, from the dictation division of Lernout & Hauspie (formerly Kurzweil Applied Intelligence), combines large-vocabulary, continuous speech recognition for dictation, with natural-language understanding for commands. Continuous speech recognition without natural-language understanding (as of 1998) is also available from Dragon System's Naturally Speaking and IBM's Viavoice.
17. Examples of translation products include Langenscheidt's T1 Professional from Gesellschaft far Multilinguale Systeme, a division of Lernout & Hauspie Speech Products; Globalink Power Translator; and SYSTRAN Classic for Windows.
18. Duncan Bythell, **The Handloom Weavers: A Study in the English Cotton Industry During the Industrial Revolution,** p. 70. There are also a number of web sites exploring both the original Luddite history and the contemporary neo-Luddite movement. For one example, see the web page Luddites On-Line at <http://www.luddites.com/index2.html>.
19. Ben J. Wattenberg, ed., **The Statistical History of the United States from Colonial Times to the Present**; U.S. Department of Commerce, Bureau of the Census, Statistical Abstract of the United States, 1997.
20. Ben J. Wattenberg, ed., **The Statistical History of the United States from Colonial Times to the Present.**
21. U.S. Department of Commerce, Bureau of the Census, **Statistical Abstract of the United States,** 1997.
22. Ted Kaczynski's Unabomber Manifesto was published in both the **New York Times** and the **Washington Post** in September 1995. The full text of the document is available on numerous web pages, including: <http://www.soci.niu.edu/~critcrim/uni/uni.txt>.

## الفصل التاسع: ٢٠٠٩

1. A consortium of eighteen manufacturers of cellular telephones and other portable electronic devices is developing a technology called Bluetooth, which provides wireless communications within a radius

of about ten meters, at a data rate of 700 to 900 kilobits per second. Bluetooth is expected to be introduced in late 1999 and will initially have a cost of about $20 per unit. This cost is expected to decline rapidly after introduction. Bluetooth will allow personal communications and electronics devices to communicate with one another.

2. Technology such as Bluetooth (see note 1) will allow computer components such as computing units, keyboards, pointing devices, printers, etc. to communicate with one another without the use of cables.
3. Microvision of Seattle has a product called a Virtual Retina Display (VRD) that projects images directly onto the user's retinas while allowing the user to see the normal environment. The Microvision VRD is currently expensive and is sold primarily to the military for use by pilots. Microvision's CEO Richard Rutkowski projects a consumer version built on a single chip before the year 2000.
4. Projecting from the speed of personal computers, a 1998 personal computer can perform about 150 million instructions per second for about $1,000. By doubling every twelve months, we get a projection of 150 million multiplied by $2^{11}$ (2,048) = 300 billion instructions per second in 2009. Instructions are less powerful than calculations, so calculations per second will be around 100 billion. However, projecting from the speed of neural computers, a 1997 neural computer provided about 2 billion neural connection calculations per second for around $2,000, which is 1 billion calculations per $1,000. By doubling every twelve months, we get a projection of 1 billion times $2^{12}$ (4,096) = 4 trillion calculations per second in 2009. By 2009, computers will routinely combine both types of computations, so if even 25 percent of the computations are of the neural connection calculation type, the estimate of 1 trillion calculations per second for $1,000 of computing in 2009 is reasonable.
5. The most powerful supercomputers are twenty thousand times more powerful than a $1,000 personal computer. With $1,000 personal computers providing about 1 trillion calculations per second (particularly of the neural-connection type of calculation) in 2009, the more powerful supercomputers will provide about 20 million billion calculations per second, which is about equal to the estimated processing power of the human brain.
6. As of this writing, there has been much publicity surrounding the work of Dr. Judith Folkman of Children's Hospital in Boston, Massachusetts, and the effects of angiogenesis inhibitors. In particular, the combination of Endostatin and Angiostatin, bio-engineered drugs that inhibit the reproduction of capillaries, has been remarkably effective in mice.

Although there has been a lot of commentary pointing out that drugs that work in mice often do not work in humans, the degree to which this drug combination worked in these laboratory animals was remarkable. Drugs that work this well in mice often do work in humans.

See "HOPE IN THE LAB: A Special Report. A Cautious Awe Greets Drugs That Eradicate Tumors in Mice," **New York Times,** May 3, 1998.

## الفصل العاشر: ٢٠١٩

1. See note 3 of chapter 9, "2009," on the Microvision Virtual Retina Display.
2. A 1997 neural computer provided about 2 billion neural-connection calculations per second for $2,000. By doubling twenty-two times by the year 2019, that comes to about 8 million billion calculations per second for $2,000 and 16 million billion calculations per second for $4,000. In 2020, we get 16 million billion calculations per second for $2,000.
3. With each human brain providing about 1016 calculations per second and an estimated 10 billion ($10^{10}$) persons, we get an estimated $10^{26}$ calculations per second for all human brains on Earth. There are about 100 million computers in the world in 1998. A conservative estimate for 2019 would be a billion computers equal to the power of the then state-of-the-art for $1,000 machines. Thus the total computing power of the computers equals one billion ($10^9$) times $10^{16} = 10^{25}$ calculations per second, which is 10 percent of $10^{26}$.

## الفصل الحادي عشر: ٢٠٢٩

1. With each human brain providing about $10^{16}$ calculations per second and an estimated 10 billion ($10^{10}$) persons, we get an estimated $10^{26}$ calculations per second for all human brains on Earth. There are about 100 million computers in the world in 1998. A (very) conservative estimate for 2029 would be a billion computers equal to the then state-of-the-art for $1,000 machines. This is actually too conservative, but still sufficient for our purposes. Thus the total computing power of the computers equals one billion ($10^9$) times $10^{19} = 10^{28}$ calculations per second, which is one hundred times the processing power of all human brains (which is $10^{26}$ calculations per second)
2. See Raymond Kurzweil, **The 10% Solution for a Healthy Life: How to Eliminate Virtually All Risk of Heart Disease and Cancer** (New York: Crown Publishers, 1993).

## الفصل الثاني عشر: ٢٠٩٩

1. As discussed in chapter 6, "Building New Brains," and chapter 10, "2019," human capacity of an estimated 2 x $10^{16}$ (neural connection) calculations per second will be achieved in a $1,000 computing device by around the year 2020. Also as noted, the capacity of computing will double every twelve months, or ten times every decade, which is a factor of one thousand ($2^{10}$) every ten years. Thus by the year 2099, $1,000 of computing will be roughly equivalent to $10^{24}$ times the computing capacity of the human brain, or $10^{40}$ calculations per second. Estimating a trillion virtual persons (hundred times greater than the roughly 10 billion persons in the early twenty-first century), and an estimated $1 million of computing devoted to each person, we get an estimated $10^{55}$ calculations per second.
2. One thousand qu-bits would enable $2^{1,000}$ (approximately $10^{300}$) calculations to be performed at the same time. If $10^{42}$ of the calculations each second are such quantum calculations, then that is equivalent to $10^{42} \times 10^{300} = 10^{342}$ calculations per second. $10^{55} + 10^{342}$ still equals about $10^{342}$.
3. What happened to picoengineering, you're wondering? Picoengineering refers to engineering at the scale of a picometer, which is one trillionth of a meter. Remember that the author has not spoken to Molly for seventy years. Nanotechnology (technology on the scale of a billionth of a meter) is becoming practical in the decade between 2019 and 2029. Note that in the twentieth century, the Law of Accelerating Returns as applied to computation has been achieved through engineering at ever smaller scales of physical size. Moore's Law is a good example of this, in that the size of a transistor (in two dimensions) has been decreasing by 50 percent every two years. This means that transistors have been shrinking by a factor of $2^5 = 32$ in ten years. Thus the feature size of a transistor in **each** dimension has been shrinking by a factor of the square root of 32 = 5.6 every ten years. We are shrinking, therefore, the feature size of components by a factor of about 5.6 in each dimension every decade.

   If engineering at the nanometer scale (nanotechnology) is practical in the year 2032, then engineering at the picometer scale should be practical about forty years later (because $5.6^4$ = approximately 1,000), or in the year 2072. Engineering at the femtometer (one thousandth of a trillionth of a meter, also referred to as a quadrillionth of a meter) scale should be feasible, therefore, by around the year 2112. Thus I am being a bit conservative to say that femtoengineering is controversial in 2099.

Nanoengineering involves manipulating individual atoms. Picoengineering will involve engineering at the level of subatomic particles (e.g., electrons). Femtoengineering will involve engineering inside a quark. This should not seem particularly startling, as contemporary theories already postulate intricate mechanisms within quarks.

## خاتمة: زيارة متكررة لبقية الكون

1. We could use the Busy Beaver Function (see note 16 on the Turing machine in chapter 4) as a quantitative measure of the software of intelligence.

## تسلسل تاريخي

Sources for the timeline include Raymond Kurzweil, **The Age of Intelligent Machines** (Cambridge, MA: MIT Press, 1990).

Introduction to big bang theory at <http://www.bowdoin.edu/dept/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>; Joseph Silk, A Short History of the Universe (New York: Scientific American Library, 1994); Joseph Silk, The Big Bang (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1980); Robert M. Wald, Space, Time and Gravity (Chicago: The University of Chicago Press, 1977); Stephen W. Hawking, A Brief History of Time (New York: Bantam Books, 1988).

Evolution and behavior at <http://ccp.uchicago.edu/~jyin/evolution.html>; Edward O. Wilson, The Diversity of Life (New York: W. W. Norton and Company, 1993); Stephen Jay Gould, The Book of Life (New York: W. W. Norton and Company, 1993); Alexander Hellemans and Bryan Bunch, The Timetable of Science (Simon and Schuster, 1988). "CBN History: Radio/Broadcasting Timeline" at <http://www .wcbn .orgthistory/wcbntime.html>.

"Chronology of Events in the History of Microcomputers" at <http://www3.islandnet.com/~kpolsson/comphist.htm>.

"The Computer Museum History Center" at <http://www.tem. org/history/index.html>.

1. Picoengineering involves engineering at the level of subatomic particles (e.g., electrons). See note 3 on picoengineering and femtoengineering in chapter 12.

2. Femtoengineering will involve engineering using mechanisms within a quark. See note 3 on picoengineering and femtoengineering in chapter 12.

## كيفية صنع آلة ذكية بثلاثة نماذج سهلة

1. See "Information Processing in the Human Body," by Vadim Gerasimov, at <http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html>.
2. Marvin Minsky and Seymour A. Papert, **Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry** (Cambridge, MA: MIT Press, 1988).
3. The quoted text on the "two daughter sciences" is from Seymour Papert, "One AI or Many," **Daedalus,** Winter 1988.

   "Dr. Seymour Papert is a mathematician and one of the early pioneers of Artificial Intelligence. Additionally, he is internationally recognized as the seminal thinker about ways in which computers can change learning. Born and educated in South Africa where he participated actively in the anti-apartheid movement, Dr. Papert pursued mathematical research at Cambridge University from 1954 through 1958. He then worked with Jean Piaget at the University of Geneva from 1958 through 1963. It was this collaboration that led him to consider using mathematics in the service of understanding how children can learn and think. In the early 1960s, Papert came to MIT where, with Marvin Minsky, he founded the Artificial Intelligence Laboratory and coauthored their seminal work Perceptrons." From the web page entitled "Seymour Papert" at <http://papert. www.media.mit. edu/people/papert/>.
4. "[Marvin] Minsky was... one of the pioneers of intelligence-based mechanical robotics and telepresence... In 1951 he built the first randomly wired neural network learning machine (called SNARC, for Stochastic Neural-Analog Reinforcement Computer), based on the reinforcement of simulated synaptic transmission coefficients... Since the early 1950s, Marvin Minsky has worked on using computational ideas to characterize human psychological processes, as well as working to endow machines with intelligence." From the brief academic biography of Marvin Minsky at <http://minsky.www.media.mit.edu/ people/minsky/minskybiog.html>.
5. Dr. Raj Reddy is dean of the School of Computer Science at Carnegie Mellon University and the Herbert A. Simon University Professor of Computer Science and Robotics. Dr. Reddy is a leading AI researcher whose research interests include the study of human-computer interaction and artificial intelligence.

# قراءات مقترحة

Abbott, E. A. Flatland: *A Romance in Many Dimensions.* Reprint. Oxford: Blackwell, 1962.

Abelson, Harold and Andrea disessa. *Turtle Geometry: The Computer as a Medium for Exploring Mathematics.* Cambridge, MA: MIT Press, 1980.

Abrams, Malcolm and Harriet Bernstein. *Future Stuff.* New York: Viking Penguin, 1989.

Adams, James L. *Conceptual Blockbusting: A Guide to Better Ideas.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

——. The Care and Feeding of ideas: *A Guide to Encouraging Creativity.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

Adams, Scott. *The Dilbert Future: Thriving on Stupidity in the 21st Century.* New York: Harper Business, 1997.

Alexander, S. *Art and Instinct.* Reprint. Oxford: Folcroft Press, 1970.

Allen, Peter K. *Robotic Object Recognition Using Vision and Touch.* Boston: Kluwer Academic, 1987.

Allman, William F. *Apprentices of Wonder: Inside the Neural Network Revolution.* New York: Bantam Books, 1989.

Amit Daniel J. *Modeling Brain Function: The World of Attractor Neural Networks.* Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

Anderson, James A. *An Introduction to Neural Networks.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Andriole, Stephen, ed. *The Future of Information Processing Technology.* Princeton, NJ: Petrocelli Books, 1985.

Antitbi, Elizabeth and David Fishlock. *Biotechnology: Strategies for Life.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

Anton, John P *Science and the Sciences in Plato.* New York: EIDOS, 1980.

Ashby, W Ross. *Design for a Brain.* New York: John Wiley and Sons, 1960.

——. *An Introduction to Cybernetics.* New.York: John Wiley and Sons, 1963.

Asimov, Isaac. *Asimov on Numbers.* New York: Bell Publishing Company, 1977.

——. *I, Robot.* New York: Doubleday, 1950.

——. *Robot Dreams.* New York: Berkeley Books, 1986.

——. *Robots of Dawn.* New York: Doubleday and Company, 1983.

Asimov, Isaac and Karen A. Frenkel. *Robots: Machines in Man's Image.* New York: Harmony Books,1985.

Atkins, R. W. *The Second Law.* New York: Scientific American Books 1984.

Augarten, Stan. *Bit by Bit: An Illustrated History of Computers.* New York: Ticknor and Fields, 1984.

Austrian, Geoffrey D. *Herman Hollerith: Forgotten Giant of Information Processing.* New York: Columbia University Press, 1982.

Axelrod, Robert. *The Evolution of Cooperation.* New York: Basic Books, 1984.

Ayache, Nicholas and Peter T. Sander. *Artificial Vision for Mobile Robots: Stereo Vision and Multisensory Perception.* Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

Ayer, Alfred J. *The Foundations of Empirical Knowledge.* London: Macmillan and Company, 1964.

——. *Language, Truth and Logic.* New York: Dover Publications, 1936.

——, ed. *Logical Positivism.* New York: Macmillan, 1959.

Ayers, M. *The Refutation of Determinism: An Essay in Philosophical Logic.* London: Methuen, 1968.

Ayres, Robert U., et al. *Robotics and Flexible Manufacturing Technologies: Assessment, Impacts, and Forecast.* Park Ridge, NJ: Noyes Publications, 1985.

Babbage, Charles. *Charles Babbage and His Calculating Engines.* Edited by Philip Morrison and Emily Morrison. New York: Dover Publications, 1961.

——. *Ninth Bridgewater Treatise: A Fragment.* London: Murray, 1838.

Babbage, Henry Prevost. *Babbage's Calculating Engines: A Collection of Papers by Henry Prevost Babbage (Editor).* Vol. 2. Los Angeles: Tornash, 1982.

Bailey, James. *After Thought: The Computer Challenge to Human Intelligence.* New York: Basic Books, 1996.

Bara, Bruno G. and Giovanni Guida. *Computational Models of Natural Language Processing. Amsterdam:* North Holland, 1984.

Barnsley, Michael F. *Fractals Everywhere.* Boston: Academic Press Professional, 1993.

Baron, Jonathan. *Rationality and Intelligence.* Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

Barrett, Paul H., ed. *The Collected Papers of Charles Darwin.* Vols. 1 and 2. Chicago: University of Chicago Press, 1977.

Barrow, John. *Theories of Everything.* Oxford: Oxford University Press, 1991.

Barrow, John D. and Frank J. Tipler. *The Anthropic Cosmological Principle.* Oxford: Oxford University Press, 1986.

Bartee, Thomas C., ed. *Digital Communications.* Indianapolis, IN: Howard W. Sams and Company, 1986.

Basalla, George. *The Evolution of Technology.* Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

Bashe, Charles J., Lyle R. Johnson, John H. Palmer, and Emerson W. Pugh. *IBM's Early Computers.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

Bateman, Wayne. *Introduction to Computer Music.* New York: John Wiley and Sons, 1980.

Baxandall, D. *Calculating Machines and Instruments.* Rev. ed. London: Science Museum, 1975. Original, 1926.

Bell, C. Gordon with John E. Mcnamara. *High-Tech Ventures: The Guide for Entrepreneurial Success.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.

Bell, Gordon. "Ultracomputers: A Teraflop Before Its Time." *Science 256* (April 3, 1992).

Benedikt, Michael, ed. *Cyberspace: First Steps.* Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

Bernstein, Jeremy. *The Analytical Engine: Computers—Past, Present and Future.* Revised ed. New York: William Morrow, 1981.

Bertin, Jacques. *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps.* Madison: University of Wisconsin Press, 1983.

Beth, E. W *Foundations of Mathematics.* Amsterdam: North Holland, 1959.

Block, Irving, ed. *Perspectives on the Philosophy of Wittgenstein.* Cambridge, MA: MIT Press, 1981.

Block, Ned, Owen Flanagan, Guven Guzeldere, eds. *The Nature of Consciousness: Philosophical Debates.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Bobrow, Daniel G. and A. Collins, eds. *Representation and Understanding.* New York: Academic Press, 1975.

Boden, Margaret. *Artificial Intelligence and Natural Man.* New York: Basic Books, 1977.

———. *The Creative Mind: Myths & Mechanisms.* New York: Basic Books, 1991.

Bolter, J. David. *Turing's Man: Western Culture in the Computer Age.* Chapel Hill: The University of North Carolina Press, 1984.

Boole, George. *An Investigation of the Laws of Thought on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities.* 1854. Reprint. Peru, IL: Open Court Publishing, 1952.

Botvinnik, M. M. *Computers in Chess: Solving Inexact Search Problems.* New York: Springer-Verlag, 1984.

Bowden, B. WI ed. *Faster Than Thought.* London: Pittman, 1953.

Brachman, Ronald J. and Hector J. Levesque. *Readings and Knowledge Representation.* Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1985.

Brady, M., L. A. Gerhardt, and H. F. Davidson. *Robotics and Artificial Intelligence.* Berlin: Springer-Verlag, 1984.

Brand, Stewart. *The Media Lab: Inventing the Future at MIT.* New York: Viking Penguin, 1987.

Briggs, John. *Fractals: The Patterns of Chaos.* New York: Simon and Schuster, 1992.

Brittan, Gordon G. *Kant's Theory of Science.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 1978.

Bronowski, J. *The Ascent of Man.* Boston: Little, Brown and Company, 1973.

Brooks, Rodney A. "Elephants Don't Play Chess." *Robotics and Autonomous Systems 6* (1990).

——. "Intelligence Without Representation." *Artificial Intelligence 47* (1991).

——. "New Approaches to Robotics." *Science 253* (1991).

Brooks, Rodney A. and Anita Flynn. "Fast, Cheap and Out of Control: A Robot Invasion of the Solar System." *Journal of the British Interplanetary Society* 42 (1989).

Brooks, Rodney A., Pattie Maes, Maja J. Mataric, and Grinell More. "Lunar Base Construction Robots." *IROS, IEEE* International Workshop on Intelligence Robots and Systems, 1990.

Brown, John Seeley *Seeing Differently: Insights on Innovation.* Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1997.

Brown, Kenneth A. *Inventors at Work: Interviews with 16 Notable American Inventors.* Redmond, WA: Tempus Books of Microsoft Press, 1988.

Brumbaugh, R. S. *Plato's Mathematical Imagination.* Bloomington: Indiana University Press, 1954.

Bruner, Jerome S., Jacqueline J. Goodnow, and George A. Austin. *A Study of Thinking.* 1956. Reprint. New York: Science Editions, 1965.

Buderi, Robert. *The Invention That Changed the World: How a Small Group of Radar Pioneers Won the Second World War and Launched a Technological Revolution.* New York: Simon and Schuster, 1996.

Burger, Peter and Duncan Gillies. *Interactive Computer Graphics: Functional, Procedural and Device-Level Methods.* Workingham, UK: Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

Burke, James. *The Day the Universe* Changed. Boston: Little, Brown and Company, 1985.

Butler, Samuel. "Darwin Among the Machines." *Canterbury Settlement.* AMS Press, 1923, (Written in 1863 by the author of *Erewhon.*)

Buxton, H. W. *Memoir of the Life and Labours of the Late Charles Babbage, Esq. ER. S.* Edited by A. Hyman. Los Angeles: Tornash, 1988.

Byrd, Donald. "Music Notation by Computer." Ph.D..dissertation, Indiana University Computer Science Department, 1984.

Bythell, Duncan. *The Handloom Weavers: A Study in the English Cotton Industry During the Industrial Revolution.* Cambridge: Cambridge University Press, 1969.

Cairns-Smith, A. G. *Seven Clues to the Origin of Life.* Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

Calvin, William H. *The Cerebral Code: Thinking a Thought in the Mosaics of the Mind.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Campbell, Jeremy. *The Improbable Machine.* New York: Simon and Schuster, 1989.

Carpenter, Gail A. and Stephen Grossberg. *Pattern Recognition by Self-Organizing Neural Networks.* Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

Carroll, Lewis. *Through the Looking Glass.* London: Macmillan, 1871.

Cassirer, Ernst. *The Philosophy of the Enlightenment.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 1951.

Casti, John L. *Complexification: Explaining the Paradoxical World Through the Science of Surprise.* New York: Harpercollins, 1994.

Cater, John P. *Electronically Hearing: Computer Speech Recognition.* Indianapolis, IN: Howard W. Sams and Company, 1984.

———. *Electronically Speaking: Computer Speech Generation.* Indianapolis, IN: Howard W. Sams and Company, 1983.

Caudill, Maureen and Charles Butler. *Naturally Intelligent Systems.* Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

Chaitin, Gregory J. *Algorithmic Information Theory.* Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

Chalmers, D. J. *The Conscious Mind.* New York: Oxford University Press, 1996.

Chamberlin, Hal. *Musical Applications of Microprocessors.* Indianapolis, IN: Hayden Books, 1985.

Chapuis, Alfred and Edmond Droz. *Automata: A Historical and Technological Study.* New York: Griffon, 1958.

Chermak, Christopher. *Minimal Rationality.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

Chomsky, Noam. *Cartesian Linguistics.* New York: Harper and Row, 1966.

———. *Language and Mind.* Enlarged edition. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1972.

———. *Language and Problems of Knowledge: The Managua Lectures.* Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

———. Language and Thought. Wakefield, RI, and London: Moyer Bell, 1993.

———. *Reflections on Language.* New York: Pantheon, 1975.

———. *Rules and Representation.* Cambridge, MA: MIT Press, 1980.

———. *Syntactic Structures.* The Hague: Mouton, 1957.

Choudhary, Alok N. and Janak H. Pattl. *Parallel Architectures and Parallel Algorithms for Integrated Vision Systems.* Boston: Kluwer Academic, 1990.

Christensen, Clayton. *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail.* Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1997.

Church, Alonzo. *Introduction to Mathematical Logic.* Vol. 1. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1956.

Church, Kenneth W. *Phonological Parsing in Speech Recognition.* Norwell, MA: Kluwer Academic, 1987.

Churchland, P S. and T. J. Sejnowski. *The Computational Brain.* Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

Churchland, Paul. *The Engine of Reason, the Seat of the Soul.* Cambridge, MA: MIT Press, 1995.

———. *Matters and Consciousness: A Contemporary Introduction to the Philosophy of Mind.* Cambridge, MA: MIT Press, 1984.

———. *A Neurocomputational Perspective: The Nature of Mind and the Structure of Science.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

Clark, Andy *Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Clarke, Arthur C. 3001: *The Final Odyssey.* New York: Ballantine Books, 1997.

Coates, Joseph E, John B. Mahaffie, and Andy Hines. 2025: *Scenarios of U.S. and Global Society Reshaped by Science and Technology.* Greensboro, NC: Oak Hill Press, 1997.

Cohen, I. Bernard. *The Newtonian Revolution.* Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

Cohen, John. *Human Robots in Myth and Science.* London: Allen and Unwin, 1966.

Cohen, Paul R. *Empirical Methods for Artificial Intelligence.* Cambridge, MA: MIT Press, 1995.

Cohen, Paul R. and Edward A. Feigenbaum. *The Handbook of Artificial Intelligence,* Vols. 3 and 4. Los Altos, CA: William Kaufmann, 1982.

Connell, Jonathan H. *Minimalist Mobile Robotics: A Colony-Style Architecture for an Artificial Creature.* Boston: Academic Press, 1990.

Conrad, Michael and H. H. Pattee. "Evolution Experiments with an Artificial Ecosystem." *Journal of Theoretical Biology* 28 (1970).

Conrad, Michael et al. "Towards an Artificial Brain." *Biosystems* 23 (1989).

Cornford, Francis M. *Plato's Cosmology.* London: Routledge and Kegan Paul, 1937.

Crandall, B. C., ed. *Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Crease, Robert P and Charles C. Mann. *The Second Creation.* New York: Macmillan, 1986.
Crick, Francis. *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul.* New York: Charles Scribner's Sons, 1994.
——. *Life Itself.* London: Mcdonald, 1981.
Critchlow, Arthur J. *Introduction to Robotics.* New York: Macmillan Publishing Company, 1985.
Cullinane, John J. *The Entrepreneur's Survival Guide: 101 Tips for Managing in Good Times and Bad.* Homewood, IL: Business One Irwin, 1993.
*Daedalus: Journal of the American Academy of Arts and Sciences. Artificial Intelligence.* Winter 1998. Vol. 117.
Darwin, Charles. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex.* Second ed. New York: Hurst and Company, 1874.
——. *The Expression of the Emotions in Man and Animals.* 1872. Reprint. Chicago: University of Chicago Press, 1965.
——. *Origin of Species.* Reprint. London: Penguin, 1859.
Davies, Paul. *Are We Alone? Implications of the Discovery of Extraterrestrial Life.* New York: Basic Books, 1995.
——. *The Cosmic Blueprint.* New York: Simon and Schuster, 1988.
——. *God and the New Physics.* New York: Simon and Schuster, 1983.
——. *The Mind of God.* New York: Simon and Schuster, 1992.
——. "A New Science of Complexity." *New Scientist* 26 (November 1988).
Davis, Philip J. and David Park, eds. *No Way: The Nature of the Impossible.* New York: W. H. Freeman, 1988.
Davis, Philip J. and Reben Hersh. *Descartes' Dream: The World According to Mathematics.* San Diego, CA: Harcourt Brace Jovanovich, 1986.
Davis, R. and D. B. Lenat. *Knowledge-Based Systems in Artificial intelligence.* New York: McGraw-Hill, 1980.
Dawkins, Richard. *The Blind Watchmaker: Why the Evidence of Evolution Reveals a Universe Without Design.* New York: W. W. Norton and Company, 1986.
——. "The Evolution of Evolvability." *Artificial Life,* edited by Christopher G. Langton. Reading, MA: Addison-Wesley, 1988.
——. *The Extended Phenotype.* San Francisco: Freeman, 1982.
——. *River out of Eden: A Darwinian View of Life.* New York: Basic Books, 1995.
——. "Universal Darwinism." *Evolution from Molecules to Men,* edited by D. S. Bendall. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
——. *The Selfish Gene.* Oxford: Oxford University Press, 1976.
Dechert, Charles R., ed. *The Social Impact of Cybernetics.* New York: Simon and Schuster, 1966.

Denes, Peter B. and Elliot N. Pinson. *The Speech Chain: The Physics and Biology of Spoken Language.* Bell Telephone Laboratories, 1963.

Dennett, Daniel C. Brainstorms: *Philosophical Essays on Mind and Psychology.* Cambridge, MA: MIT Press, 1981.

——. *Consciousness Explained.* Boston: Little, Brown and Company, 1991

——. *Content and Consciousness.* London: Routledge and Kegan Paul, 1969.

——. *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life.* New York: Simon and Schuster, 1995.

——. *Elbow Room: The Varieties of Free Will Worth Wanting.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

——. *The Intentional Stance.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

——. *Kinds of Minds: Toward an Understanding of Consciousness.* New York: Basic Books, 1996.

Denning, Peter J. and Robert M. Metcalfe. *Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing.* New York: Copernicus, 1997.

Depew, David J. and Bruce H. Weber, eds. *Evolution at a Crossroads.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

Dertouzos, Michael. *What Will Be: How the New World of Information Will Change Our Lives.* New York: Harpercollins, 1997.

Dertouzos, Michael L. and Joel Moses Dertouzos. *The Computer Age: A Twenty Year View.* Cambridge, MA: MIT Press, 1979.

Descartes, R. *Discourse on Method, Optics, Geometry, and Meteorology.* 1637. Reprint. Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1956.

——. *Meditations on First Philosophy.* Paris: Michel Soly, 1641.

——. *Treatise on Man.* Paris, 1664.

Devlin, Keith. *Mathematics: The Science of Patterns.* New York: Scientific American Library, 1994.

Dewdney, A. K. *The Armchair Universe: An Exploration of Computer Worlds.* New York: W. H. Freeman, 1988.

De Witt, Bryce and R. D. Graham, eds. T*he Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 1974.

Diebold, John. *Man and the Computer: Technology as an Agent of Social Change.* New York: Avon Books, 1969.

Dixit, Avinash and Robert S. Pindyck. *Investment Under Uncertainty.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.

Dobzhansky, *Theodosius. Mankind Evolving: The Evolution of the Human Species.* New Haven, CT: Yale University Press, 1962.

Dodds, E. R. *Greeks and the Irrational.* Berkeley: University of California Press, 1951.

Downes, Larry, Chunka Mui, and Nicholas Negroponte. *Unleashing the Killer App: Digital Strategies for Market Dominance.* Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1998.

Drachmann, A. G. *The Mechanical Technology of Greek and Roman Antiquity.* Madison: University of Wisconsin Press, 1963.

Drexler, K. Eric. *Engines of Creation.* New York: Doubleday, 1986.

———. "Hypertext Publishing and the Evolution of Knowledge." *Social Intelligence* 1:2 (1991).

Dreyfus, Hubert. "Alchemy and Artificial Intelligence," *Rand Technical Report,* December 1965.

———. *Philosophic Issues in Artificial intelligence.* Chicago: Quadrangle Books, 1967.

———. *What Computers Can't Do: The Limits of Artificial Intelligence.* New York: Harper and Row, 1979.

———. *What Computers Still Can't Do: A Critique of Artificial Reason.* Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

———, ed. *Husserl, Intentionality & Cognitive Science.* Cambridge, MA: MIT Press, 1982.

Dreyfus, Hubert L. and Stuart E. Dreyfus. *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer.* New York: The Free Press, 1986.

Drucker, Peter F. *Innovation and Entrepreneurship: Practice and Principles.* New York: Harper and Row, 1985.

Durrett, H. John, ed. *Color and the Computer.* Boston: Academic Press, 1987.

Dyson, Esther. *Release 2.0: A Design for Living in the Digital Age.* New York: Broadway Books, 1997.

Dyson, Freeman. *Disturbing the Universe.* New York: Harper and Row, 1979.

———. *From Eros to Gaia.* New York: Harpercollins, 1990.

———. *Infinite in All Directions.* New York: Harper and Row, 1988.

———. *Origins of Life.* Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

Dyson, George B. *Darwin Among the Machines: The Evolution of Global Intelligence.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1997.

Eames, Charles and Ray Eames. *A Computer Perspective.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1973.

*Ebeling, Carl. All the Right Moves: A VLSI Architecture for Chess.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Edelman, *G. M. Neural Darwinism: The Theory of Neuronal Group Selection.* New York: Basic Books, 1987.

Einstein, Albert. *Relativity: The Special and the General Theory.* New York: Crown, 1961.

Elithorn, Alick and Ranan Banerji. *Artificial and Human Intelligence.* Amsterdam: North Holland, 1991.

Enderle, G. *Computer Graphics Programming.* Berlin: Springer-Verlag, 1984.

Fadiman, Clifton, ed. *Fantasia Mathematica: Being a Set of Stories, Together with a Group of Oddments and Diversion, All Drawn from the Universe of Mathematics.* New York: Simon and Schuster, 1958.

Fahlman, Scott E. *NETL: A System for Representing and Using Real-World Knowledge.* Cambridge, MA: MIT Press, 1979.

Fant, Gunnar. *Speech Sounds and Features.* Cambridge, MA: MIT Press, 1973.

Feigenbaum, E. and Avron Barr, eds. T*he Handbook of Artificial Intelligence.* Vol. 1. Los Altos, CA: William Kaufmann, 1981.

Feigenbaum, Edward A. and Julian Feldman, eds. *Computers and Thought.* New York: McGraw-Hill, 1963.

Feigenbaum, Edward A. and Pamela Mccorduck. *The Fifth Generation: Artificial Intelligence and Japan's Computer Challenge to the World.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1983.

Feynman, Richard, "There's Plenty of Room at the Bottom." *Miniaturization,* edited by H. D. Gilbert. New York: Reinhold, 1961.

Feynman, Richard P. *Surely You're Joking, Mr Feynman!* New York: Norton, 1985.

———. *What Do You Care What Other People Think?* New York: Bantam, 1988.

Feynman, Richard P. Robert B. Leighton, and Matthew Sands. *The Feynman Lectures in Physics.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1965.

Findlay, J. N. *Plato and Platonism: An Introduction.* New York: Times Books, 1978.

Finkelstein, Joseph, ed. *Windows on a New World: The Third Industrial Revolution.* New York: Greenwood Press, 1989.

Fischler, Martin A. and Oscar Firschein. *Intelligence: The Eye, the Brain and the Computer.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1987.

———, eds., *Readings in Computer Vision: Issues, Problems, Principles, and Paradigms.* Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1987.

Fjermedal, Grant. *The Tomorrow Makers: A Brave New World of Living Brain Machines.* New York: Macmillan Publishing Company, 1986.

Flanagan, Owen. *Consciousness Reconsidered.* Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

Flynn, Anita, Rodney A. Brooks, and Lee S. Tavrow "Twilight Zones and Cornerstones: A Gnat Robot Double Feature." *A.I. Memo 1126.* MIT Artificial Intelligence Laboratory, 1989.

Fodor, Jerry A. *The Language of Thought.* Hassocks, UK: Harvester, 1975.

———. "Methodological Solipsism Considered as a Research Strategy in Cognitive Psychology." *Behavioral and Brain Sciences.* Vol. 3, 1980.

———. *The Modularity of Mind.* Cambridge, MA: MIT Press, 1983.

———. *Psychosemantics.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

——. *Representations: Philosophical Essays on the Foundations of Cognitive Science.* Cambridge, MA: MIT Press, 1982.

——. *A Theory of Content and Other Essays.* Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

Fogel, Lawrence J., Alvin J. Owens and Michael J. Walsh. *Artificial Evolution Through Simulated Evolution.* New York: John Wiley and Sons, 1966.

Foley, James, Andries van Dam, Steven Feiner, and John Hughes. *Computer Graphics: Principles and Practice.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.

Forbes, R. J. *Studies in Ancient Technology.* 9 vols. Leiden, Netherlands: E, J. Brill, 1955-1965.

Ford, Kenneth M., Clark Glymour, and Patrick J. Hayes. *Android Epistemology.* Cambridge, MA: MIT Press, 1995.

Forester, Tom. *Computers in the Human Context.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

——. *High-Tech Society: The Story of the Information Technology Revolution.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

——. *The Information Technology Revolution.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

——. *The Materials Revolution.* Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

Forrest, Stephanie, ed. Emergent Computation. Amsterdam: North Holland, 1990.

Foster, Richard. *Innovation: The Attacker's Advantage.* New York: Summit Books, 1986.

Fowler, D. H. *The Mathematics of Plato's Academy.* Oxford: Clarendon Press, 1987.

Franke, Herbert W. *Computer Graphics-Computer Art.* Berlin: Springer-Verlag, 1985.

Franklin, Stan. *Artificial Minds.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Frauenfelder, Uli H. and Lorraine Kormisarevsky Tyler. *Spoken Word Recognition.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Freedman, David H. *Brainmakers: How Scientists Are Moving Beyond Computers to Create a Rival to the Human Brain.* New York: Simon and Schuster, 1994.

Freeman, Herbert, ed. *Machine Vision for Three-Dimensional Scenes.* Boston: Academic Press, 1990.

Freud, Sigmund. *The Interpretation of Dreams. Reprint.* London: Hogarth Press, 1955

——. *Jokes and Their Relation to the Unconscious.* Vol. 8 of Standard *Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud.* 1905. Reprint. London: Hogarth Press, 1957.

Freudenthal, Hans. *Mathematics Observed.* Trans. Stephen Rudolfer and I. N. Bakei. New York: McGraw-Hill, 1967.

Frey, Peter W. ed. *Chess Skill in Man and Machine.* New York: Springer-Verlag, 1983.

Friend, David, Alan R. Pearlman, and Thomas D. Piggott. *Learning Music with Synthesizers.* Lexington, MA: Hal Leonard, 1974.

Gamow George. *One Two Three... Infinity.* Toronto: Bantam Books, 1961.

Gardner, Howard. The Mind's New Science: A History of the Cognitive Revolution. New York: Basic Books, 1985.

Gardner, Martin. *Time Travel and Other Mathematical Bewilderments.* New York: W. H. Freeman, 1988.

Garey Michael R. and David S. Johnson. *Computers and Intractability.* San Francisco: W. H. Freeman, 1979.

Gates, Bill. *The Road Ahead.* New York: Viking Penguin, 1995.

Gay, Peter. *The Enlightenment: An Interpretation.* Vol. 1, The Rise of Modern Paganism. New York, W. W. Norton, 1966.

———. *The Enlightenment: An Interpretation.* Vol. 2, *The Science of Freedom.* New York, W. W. Norton, 1969.

Gazzaniga, Michael S. Mind Matters: *How Mind and Brain Interact to Create Our Conscious Lives.* Boston: Houghton-Mifflin Company, 1988.

Geissler, H. G. et al. *Advances in Psychology.* Amsterdam: Elsevier Science, B.V, 1983.

Geissler, Hans-George, et al. *Modern Issues in Perception.* Amsterdam: North Holland, 1983.

Gelernter, David. *Mirror Worlds: Or the Day Software Puts the Universe in a Shoebox... How It Will Happen and What It Will Mean.* New York: Oxford University Press, 1991.

———. *The Muse in the Machine: Computerizing the Poetry of Human Thought.* New York: The Free Press, 1994.

———. Gell-Mann, Murray. *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex.* New York: W H. Freeman, 1994.

———. "Simplicity and Complexity in the Description of Nature." *Engineering & Science* 3, Spring 1988.

Ghiselin, Brewster. *The Creative Process: A Symposium.* New York: New American Library, 1952.

Gilder, George. *Life After Television.* New York: W. W. Norton and Company, 1994.

———. *The Meaning of Microcosm.* Washington, D.C.: The Progress and Freedom Foundation, 1997.

———. *Microcosm: The Quantum Revolution in Economics and Technology.* New York: Simon and Schuster, 1989.

———. *Telecosm.* New York: American Heritage Custom Publishing, 1996.

Gillispie, Charles. *The Edge of Objectivity.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 1960.

Glass, Robert L. *Computing Catastrophes.* Seattle, WA: Computing Trends, 1983.

Gleick, James. *Chaos: Making a New Science.* New York: Viking Penguin, 1987.

Glenn, Jerome Clayton. *Future Mind: Artificial Intelligence: The Merging of the Mystical and the Technological in the 21st Century.* Washington, D.C.: Acropolis Books, 1989.

Gödel, Kurt. *On Formally Undecidable Propositions in "Principia Mathematica" and Related Systems.* New York: Basic Books, 1962.

Goldberg, David E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

Goldstine, Herman. *The Computer From Pascal to von Neumann.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 1972.

Goleman, Daniel. *Emotional Intelligence: Why It Can Matter More Than IQ.* New York: Bantam Books, 1995.

Good, I. J. "Speculations Concerning the First Ultraintelligent Machine." *Advances in Computers.* Vol. 6. Edited by Franz L. Alt and Morris Rubinoff. Academic Press, 1965.

Goodman, Cynthia. *Digital Visions: Computers and Art.* New York: Harry N. Abrams, 1987.

Gould, Stephen J. *Ever Since Darwin.* New York: Norton, 1977.

———. *Full House: The Spread of Excellence from Plato to Darwin.* New York: Crown, 1995.

———. *Hen's Teeth and Horse's Toes.* New York: Norton, 1983.

———. *The Mismeasure of Man.* New York: Norton, 1981.

———. *Ontogeny and Phylogery.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1977.

———. "Opus 200." *Natural History,* August 199 1.

———. *The Panda's Thumb.* New York: Norton, 1980.

———. *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History.* New York: Norton, 1989.

Gould, Stephen J. and Elisabeth S. Vrba. "Exaptation—A Missing Term in the Science of Form." *Paleobiology* 8:1, 1982.

Gould, Stephen J. and R. C. Lewontin. "The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme." *Proceedings of the Royal Society of London,* B 205 (1979).

Graubart, Steven R., ed. *The Artificial Intelligence Debate: False Starts, Real Foundations.* Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

Greenberg, Donald, Aaron Marcus, Alan H. Schmidt, and Vernon Gorter. *The Computer Image: Applications of Computer Graphics.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1982.

Greenberger, *Martin, ed. Computers and the World of the Future.* Cambridge, MA: MIT Press, 1962.

Greenblatt, R. D. et al. *The Greenblatt Chess Program. Proceedings of the Fall Joint Computer Conference.* ACM, 1967.

Gribbin, J. *In Search of Schrodingers Cat: Quantum Physics and Reality.* New York: Bantam Books, 1984.

Grimson, W. Eric L. *Object Recognition by Computer: The Role of Geometric Constraints.* Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

Grimson, W. Eric L. and Ramesh S. Patil, eds. *AI in the 1980s and Beyond: An MIT Survey.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Grimson, William Eric Leifur. *From Images to Surfaces: A Computational Study of the Human Early Visual System.* Cambridge, MA: MIT Press, 1981.

Grossberg, Stephen, ed. *Neural Networks and Natural Intelligence.* Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

Grossman, Reinhardt. *Phenomenology and Existentialism: An Introduction.* London Routledge and Kegan Paul, 1984.

Guillen, Michael. *Bridges to Infinity: The Human Side of Mathematics.* Los Angeles: Jeremy P. Tarcher, 1983.

Guthrie, W. K. C. *A History of Greek Philosophy.* 6 vols. Cambridge: Cambridge University Press, 1962-1981.

Hafner, Katie and John Markoff. *Cyberpunk: Outlaws and Hackers on the Computer Frontier.* New York: Simon and Schuster, 1991.

Halberstam, David. *The Next Century.* New York: William Morrow, 1991.

Hameroff, Stuart R., Alfred W Kaszniak, and Alwyn C. Scott, eds. *Toward a Science of Consciousness: The First Tucson Discussions and Debates.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Hamming, R. W. *Introduction to Applied Numerical Analysis.* New York: McGraw-Hill, 1971.

Hankins, *Thomas L. Science and the Enlightenment.* Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

Harel, David. Algorithmics: *The Spirit of Computing.* Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1987.

Harman, Willis. *Global Mind Change: The New Age Revolution in the Way We Think.* New York: Warner Books, 1988.

Harmon, Paul and David King. *Expert Systems: Artificial Intelligence in Business.* New York: John Wiley and Sons, 1985.

Harre, Rom, ed. *American Behaviorial Scientist: Computation and the Mind.* Vol. 40, no. 6, May 1997.

Harrington, Steven. *Computer Graphics: A Programming Approach.* New York: McGraw-Hill, 1987.

Harris, Mary Dee. *Introduction to Natural Language Processing.* Reston, VA: Reston, 1985.

Haugeland, John. *Artificial Intelligence: The Very Idea.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

——, ed. *Mind Design: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence.* Cambridge, MA: MIT Press, 1981.

——, ed. *Mind Design II: Philosophy, Psychology, Artificial Intelligence.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Hawking, Stephen W. *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes.* Toronto: Bantam Books, 1988.

Hayes-Roth, Frederick, D. A. Waterman, and D. B. Lenat, eds. *Building Expert Systems.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1983.

Heisenberg, Werner. *Physics and Beyond: Encounters and Conversations.* New York: Harper and Row, 1971.

Hellemans, *Alexander and Bryan Bunch. The Timetables of Science.* New York: Simon and Schuster, 1988.

Herbert, Nick. *Quantum Reality. Garden City,* NY: Anchor Press, 1985.

Hildebrandt, Stefan and Anthony Tromba. *Mathematics and Optimal Form.* New York: Scientific American Books, 1985.

Hillis, W. Daniel. *The Connection Machine.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

——. "Intelligence as an Emergent Behavior; Or: The Songs of Eden," in S. R. Graubard, ed. *The Artificial Debate: False Starts and Real Foundations.* Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

Hindle, Brooke and Steven Lubar. *Engines of Change: The American Industrial Revolution,* 1790–1860. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1986.

Hoage, R. J. and Larry Goldman. *Animal Intelligence: Insights into the Animal Mind.* Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1986.

Hodges, Andrew. *Alan Turing: The Enigma.* New York: Simon and Schuster, 1983.

Hoel, Paul G., Sidney C. Port, and Charles J. Stone. *Introduction to Stochastic Processes.* Boston: Houghton-Mifflin, 1972.

Hofstadter, Douglas R. *Gödel, Escher Bach: An Eternal Golden Braid.* New York: Basic Books, 1979.

——. *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern.* New York: Basic Books, 1985.

Hofstadter, Douglas R. and Daniel C. Dennett. *The Mind's I: Fantasies and Reflections on Self and Soul.* New York: Basic Books, 1981.

Hofstadter, Douglas R., Gray Clossman, and Marsha Meredith. "Shakespeare's Plays Weren't Written by Him, but by Someone Else of the Same Name." Bloomington: Indiana University Computer Science Department Technical Report 96, 1980.

Holland, J.H., K.J. Holyoke, R.E. Nisbett, and P.R. Thagard. *Induction: Processes of Inference, Learning, and Discovery.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

Hookway, Christopher, ed. *Minds, Machines, and Evolution: Philosophical Studies.* Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

Hopper, Grace Murray and Steven L. *Mandell. Understanding Computers.* Second ed. St. Paul, MN: West Publishing Co., 1987.

Horn, Berthold Klaus Paul. *Robot Vision.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

Horn, Berthold K. P. and Michael J. Brooks. *Shape from Shading.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

Hsu, F. Two Designs of *Functional Units for VLSI Based Chess Machines.* Technical Report. Computer Science Department, Carnegie Mellon University, 1986.

Hubel, David H. Eye, *Brain, and Vision.* New York: Scientific American Library, 1988.

Hume, D. *Inquiry Concerning Human Understanding.* 1748. Reprint. Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1955.

Hunt, V. Daniel. *Understanding Robotics.* San Diego, CA: Academic Press, 1990.

Huxley, Aldous. *Brave New World.* New York: Harper, 1946.

Hyman, Anthony. *Charles Babbage: Pioneer of the Computer.* Oxford: Oxford University Press, 1982.

Inose, Hiroshi and John R. Pierce. *Information Technology and Civilization.* New York: W. H. Freeman, 1984.

Jacobs, Francois. *The Logic of Life.* New York: Pantheon Books, 1973.

James, Mike. *Pattern Recognition.* New York: John Wiley and Sons, 1988.

James, William. *The Varieties of Religious Experience.* New York: Collier Books, 1961.

Jamieson, Leah H., Dennis Gannon, and Robert J. Douglas. *The Characteristics of Parallel Algorithms.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Johnson, Mark and George Lakoff. *Metaphors We Live By.* Chicago: University of Chicago Press, 1980.

Jones, Steve. *The Language of Genes: Solving the Mysteries of Our Genetic Past, Present, and Future.* New York: Anchor Books, 1993.

Jones, W. T. *Kant and the Nineteenth Century.* Vol. 4 of *A History of Western Philosophy* Second ed. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1975.

——. *The Twentieth Century to Wittgenstein and Sartre.* Vol. 5 of *A History of Western Philosophy.* Second ed. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1975.

Joy, Kenneth I., Charles W. Grant, Nelson L. Max, and Lansing Hatfield. *Tutorial: Computer Graphics: Image Synthesis.* Washington, D.C.: Computer Society Press, 1988.

Judson, Horace F. *The Eighth Day of Creation.* New York: Simon and Schuster, 1979.

Jung, Carl. *Memories, Dreams, Reflections.* Rev. ed. Edited by Aniela Jaffe, and translated by Richard and Clara Winston. New York: Pantheon Books, 1961.

Jung, Carl, et al. *Man and His Symbols.* Garden City, NY: Doubleday, 1964.

Kaku, Michio. *Hyperspace: A Scientific Odyssey Through Parallel Universes, Time Warps, and the 10th Dimension.* New York: Anchor Books, 1995.

——. *Visions: How Science Will Revolutionize the 21st Century.* New York: Doubleday, 1997.

Kant, Immanuel. *Prolegomena to Any Future Metaphysics.* Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1950.

Kasner, Edward and James Newman. *Mathematics and the Imagination.* New York: Simon and Schuster, 1940.

Kauffman, Stuart A. "Antichaos and Adaptation." *Scientific American,* August 1991.

——. *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity.* New York: Oxford University Press, 1995.

——. *The Origins of Order: Self-Organization and Selection in Evolution.* Oxford: Oxford University Press, 1993.

——. "The Sciences of Complexity and <Origins of Order.>" Santa Fe Institute, 1991, technical report 91-04-021.

Kaufmann, William J. and Larry L. Smarr. *Supercomputing and the Transformation of Science.* New York: Scientific American Library, 1993.

Kay, Alan C. "Computers, Networks and Education." *Scientific American,* September 1991.

Kelly, Kevin. *Out of Control: The New Biology of Machines, Social Systems and the Economic World.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1994.

Kent, Ernest W. *The Brains of Men and Machines.* Peterborough, NH: BYTE/McGraw-Hill, 1981.

Kidder, Tracy. *The Soul of a New Machine.* London: Allen Lane. 1982.

Kirk, G. S., J. E. Raven, and M. Schofield. *The Presocratic Philosophers.* Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

Kleene, Stephen Cole. *Introduction to Metamathematics.* New York: D. Van Nostrand, 1952.

Kline, Morris. *Mathematics and the Search for Knowledge.* Oxford: Oxford University Press, 1985.

Klivington, Kenneth A. *The Science of Mind.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

Klix, Friedhart, ed. *Human and Artificial Intelligence.* Amsterdam: North Holland, 1979.

Knorr, Wilbur Richard. *The Ancient Tradition of Geometric Problems.* Boston: Birkhauser, 1986.

Kobayashi, Kji. *Computers and Communications: A Vision of C & C.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

Kohonen, Teuvo. *Self-Organization and Associative Memory.* Berlin: Springer-Verlag, 1984.

Kosslyn, Stephen M. *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Koza, John R. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection.* Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

Krauss, Lawrence N. *The Physics of Star Trek.* New York: Basic Books, 1995.

Kullander, Sven and Bole Larsson. *Out of Sight! From Quarks to Living Cells.* Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

Kuno, Susumu. *Functional Syntax: Anaphora, Discourse, and Empathy.* Chicago: University of Chicago Press, 1987.

Kurzweil, Raymond. *The Age of Intelligent Machines.* Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

———. *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence.* New York: Viking Penguin, 1999.

———. "When Will HAL Understand What We Are Saying? Computer Speech Recognition and Understanding." Chapter in *HAL's Legacy: 2001's Computer as Dream & Reality.* Edited by David G. Stork. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

———. *The 10% Solution for a Healthy Life: How to Eliminate Virtually All Risk of Heart Disease and Cancer.* New York: Crown Publishers, 1993.

Lammers, Susan. *Programmers at Work: Interviews.* Redmond, WA: Microsoft Press, 1986.

Landes, David S. *Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.

Landreth, Bill. *Out of the Inner Circle: A Hacker's Guide to Computer Security.* Bellevue, WA: Microsoft Press, 1985.

Langley, Pat, Herbert A. Simon, Gary L. Bradshaw, and Jan M. Zytkow. *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Process.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Langton, Christopher G., ed. *Artificial Life: An Overview.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Lasserre, Francois. *The Birth of Mathematics in the Age of Plato.* New York: World Publishing Co., 1964.

Latil, Pierre de. *Thinking by Machine: A Study of Cybernetics.* Boston: Houghton-Mifflin. 1956.

Laver, Murray *Computers and Social Change.* Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

Lea, Wayne A., ed. *Trends in Speech Recognition.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1980.

Leavitt, Ruth, ed. *Artist and Computer.* Morristown, NJ: Creative Computing Press, 1976.

Lee, Kai-Fu and Raj Reddy. *Automatic Speech Recognition: The Development of the SPHINX Recognition System.* Boston: Kluwer, 1989.

Lee, Thomas F. *The Human Genome Project: Cracking the Genetic Code of Life.* New York: Plenum Press, 1991.

Leebaert, Derek, ed. *Technology 2001: The Future of Computing and Communications.* Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

Leibniz, Gottfried Wilhelm. *Philosophical Writings. Ed. G. H. R. Parkinson.* London and Toronto: J. M. Dent and Sons, 1973.

Leibniz, Gottfried Wilhelm and Samuel Clarke. *The Leibniz-Clarke Correspondence.* Ed. H. G. Alexander. Manchester, UK: Manchester University Press, 1956.

Lenat, Douglas B. "The Heuristics of Nature: The Plausible Mutation of DNA." Stanford Heuristic Programming Project, 1980, technical report HPP-80-27.

Lenat, Douglas B. and R. V Guha. *Building Large Knowledge-Based Systems: Representation and Inference in the CYC Project.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1990.

Leontief, Wassily W. *The Impact of Automation on Employment, 1963-2000,* Institute for Economic Analysis, New York University, 1984.

Leontief, Wassily W. and Faye Duchin, eds. *The Future Impact of Automation on Workers.* Oxford: Oxford University Press, 1986.

Lettvin, J. Y., U. Maturana, W. McCulloch, and W. Pitts. "What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain." *Proceedings of the IRE,* 47 (1959).

Levy, Steven. *Artificial Life: The Quest for a New Creation.* New York: Pantheon Books, 1992.

———. Hackers: *Heroes of the Computer Revolution.* Garden City, NY: Anchor Press/Doubleday, 1968.

Lewin, Roger. *Complexity: Life at the Edge of Chaos.* New York: Macmillan, 1992.

———. *In the Age of Mankind: A Smithsonian Book of Human Evolution.* Washington, D.C.: Smithsonian Books, 1988.

———. *Thread of Life: The Smithsonian Looks at Evolution.* Washington, D.C.: Smithsonian Books, 1982.

Lieff, Jonathan D. (M.D.) *Computer Applications in Psychiatry.* Washington, D.C.: American Psychiatric Press, 1987.

Lloyd, G. E. R. *Aristotle: The Growth and Structure of His Thought.* Cambridge: Cambridge University Press, 1968.

——. *Early Greek Science: Thales to Aristotle.* New York: W. W. Norton, 1970.

Locke, John. *Essay Concerning Human Understanding.* London, 1690.

Lord, Norman W. and Paul A. Guagosian. *Advanced Computers: Parallel and Biochip Processors.* Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science, Butterworth Group, 1983.

Lowe, David G. *Perceptual Organization and Visual Recognition.* Boston: Kluwer Academic, 1985.

Lubar, Steven. *Infoculture: The Smithsonian Book of Information Age Inventions.* Boston: Houghton-Mifflin Company, 1993.

Luce, R. D. and H. Raiffa. *Games and Decisions.* New York: John Wiley and Sons, 1957.

Lucky, Robert W. *Silicon Dreams: Information, Man, and Machine.* New York: St. Martin's Press, 1989.

MacEy, Samuel L. *Clocks and the Cosmos: Time in Western Life and Thought.* Hamden: Archon Books, 1980.

Maes, Pattie. *Designing Autonomous Agents.* Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

Magnenat-Thalmann, Nadia and Daniel Thalmann. *Computer Animation: Theory and Practice.* Tokyo: Springer-Verlag, 1985.

Malcolm, Norman. *Ludwig Wittgenstein: A Memoir, with a Biographical Sketch by Georg Henrik Von Wright.* Oxford: Oxford University Press, 1958.

Mamdam, E. H. and B. R. Gaines. *Fuzzy Reasoning and Its Applications.* London: Academic Press, 1981.

Mandelbrot, Benoit B. *The Fractal Geometry of Nature.* New York: W. H. Freeman, 1988.

——. *Fractals: Form, Chance, and Dimension.* San Francisco: W. H. Freeman, 1977.

Mander, Jerry. *In the Absence of the Sacred: The Failure of Technology and the Survival of the Indian Nations.* San Francisco: Sierra Club Books, 1992.

Margulis, Lynn and Dorion Sagan. *Microcosmos: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors.* New York: Summit Books, 1986.

Markle, Sandra and William Markle. *In Search of Graphics: Adventures in Computer Art.* New York: Lothrop, Lee and Shepard Books, 1985.

Markoff, John. "The Creature That Lives in Pittsburgh." New York Times, April 21, 1991.

Markov, A. *The Theory of Algorithms.* Moscow: National Academy of Sciences, USSR, 1954.

Marr, D. *Vision.* New York: W H. Freeman, 1982.

Martin, James and Steven Oxman. *Building Expert Systems: A Tutorial.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1988.

Martin, William A., K. W Church, and R. S. Patil. "Preliminary Analysis of a Breadth-First Parsing Algorithm: Theoretical and Experiential Results." Cambridge, MA: MIT Laboratory for Computer Science, 1981.

Marx, Leo. *The Machine in the Garden: Technology and the Pastoral ideal in America.* London: Oxford University Press, 1964.

Mason, Matthew T. and Kenneth Salisbury, Jr. *Robot Hands and the Mechanics of Manipulation.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

Massaro, D. W, et al. *Letter and Word Perception: Orthographic Structure and Visual Processing in Reading.* Amsterdam: North Holland, 1980.

Mathews, Max V. *The Technology of Computer Music.* Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

Mayr, Ernst. *Animal Species and Evolution.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1963.

———. *Toward a New Philosophy of Biology.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.

Mayr, Otto. *Authority, Liberty, and Automatic Machinery in Early Modern Europe.* Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1986.

Mazlish, Bruce. *The Fourth Discontinuity: The Co-Evolution of Humans and Machines.* New Haven, CT: Yale University Press, 1993.

McClelland, James L. and David E. Rumelhart. *Parallel Distributed Processing Explorations in the Microstructure of Cognition* Volume 1. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

———. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition* Volume 2. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

McCorduck, Pamela. *Aaron's Code: MetaArt, Artificial Intelligence, and the Work of Harold Cohen.* New York: W. H. Freeman, 1991.

———. *Machines Who Think: A Personal Inquiry into the History and Prospects of Artificial Intelligence.* San Francisco: W. H. Freeman, 1979.

McCulloch, Warren S. *An Account of the First Three Conferences of Teleological Mechanisms.* Josiah Macy, Jr. Foundation, 1947.

———. *Embodiments Of Mind.* Cambridge, MA: MIT Press, 1965.

McLuhan, Marshall. *The Medium Is the Message.* New York: Bantam Books, 1967.

———. *Understanding Media: The Extension of Man.* New York: McGraw-Hill, 1964.

Mcrae, Hamish. *The World in 2020: Power Culture, and Prosperity.* Cambridge, MA: Harvard Business School Press, 1994.

Mead, Carver, *Analog VLSI Implementation of Neural Systems.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.

Mead, Carver and Lynn Conway. *Introduction to VLSI Systems.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1980.

Meisel, William S. *Computer-Oriented Approaches to Pattern Recognition.* New York: Academic Press, 1972.

Mel, Bartlett W. *Connectionist Robot Motion Planning: A Neurally-Inspired Approach to Visually-Guided Reaching.* Boston: Academic Press, 1990.

Metropolis, N. J. Howlett, and Gian-Carlo Rota, eds. *A History of Computing in the Twentieth Century.* New York: Academic Press, 1980.

Miller, Eric, ed. *Future Vision: The 189 Most Important Trends of the 1990s.* Naperville, IL: Sourcebooks Trade, 1991.

Minsky, Marvin. *Computation: Finite and Infinite Machines.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1967.

———. "A Framework for Representing Knowledge." *In The Psychology of Computer Vision,* edited by P. H. Winston. New York: McGraw-Hill, 1975.

———. *The Society of Mind.* New York: Simon and Schuster, 1985.

———, ed. *Robotics.* New York: Doubleday, 1985.

———, ed. *Semantic Information Processing.* Cambridge, MA: MIT Press, 1968.

Minsky, Marvin and Seymour A. Papert. *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry.* Cambridge, MA: MIT Press, 1969 (revised edition, 1988).

Mitchell, Melanie. *An Introduction to Genetic Algorithms.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Mohr, Richard R. *The Platonic Cosmolity.* Leiden, Netherlands: E. J. Brill, 1985.

Moore, Thomas J. *Lifespan: New Perspectives on Extending Human Longevity.* New York: Simon and Schuster, 1993.

Moore, Walter. *Schrodinger: Life and Thought.* Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

Moravec, Hans. *Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1988.

Morgan, Christopher R, ed. The "Byte' Book of Computer Music. Peterborough, NH: Byte Books, 1979.

Morowitz, Harold J. and Jerome L. Singer. *The Mind, the Brain, and Complex Adaptive Systems.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.

Morris, Desmond. *The Naked Ape: A Zoologist's Study of the Human Animal.* New York: McGraw-Hill, 1967.

Morse, Stephen S., ed. *Emerging Viruses.* Oxford: Oxford University Press, 1997.

Mumford, Lewis. *The Myth of the Machine: Technics and Human Development.* New York: Harcourt Brace and World, 1967.

Murphy, Pat. *By Nature's Design.* San Francisco: Chronicle Books, 1993.

Murray, David W. and Bernard E Buxton. *Experiments in the Machine Interpretation of Visual Motion.* Cambridge, MA: MIT Press, 1990.

Myers, Terry, John Laver, and John Anderson, eds. *The Cognitive Representation of Speech.* Amsterdam: North Holland, 1981.

Naisbitt, John. *Global Paradox: The Bigger the World Economy, the More Powerful Its Smallest Players.* New York: William Morrow, 1994.

Naisbitt, John and Patricia Aburdene. *Megatrends 2000: Ten New Directions for the 1990s.* New York: William Morrow, 1990.

———. *Re-Inventing the Corporation: Transforming Your Job and Your Company for the New Information Society.* New York: Warner Books, 1985.

Nayak, P. Ranganath and John M. Ketteringham. *Breakthroughs! How the Vision and Drive Of Innovators in Sixteen Companies Created Commercial Breakthroughs That Swept the World.* New York: Arthur D. Little, 1986.

Negroponte, Nicholas. *Being Digital.* New York: Alfred A. Knopf, 1995.

———. "Products and Services for Computer Networks," Scientific American, September 1991.

Neuberger, A. R *The Technical Arts and Sciences of the Ancients.* London: Methuen, 1930.

Newell, Allen. *Intellectual Issues in the History of Artificial Intelligence.* Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University, 1982.

———. *The Unified Theories of Cognition.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990.

Newell, Allen and Herbert A. Simon. *Human Problem Solving. Englewood Cliffs,* NJ: Prentice-Hall, 1972.

Newell, Allen, et al. "Speech Understanding Systems: Final Report of a Study Group." Computer Science Department, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, May 1971.

Newmeyer, Frederick J. *Linguistic Theory in America.* Second ed. Orlando, FL: Academic Press, 1986.

Newton, Isaac. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.* Third ed. Cambridge, MA: Havard University Press, 1972. Original, 1726.

Nierenberg, Gerard. *The Art of Creative Thinking.* New York: Simon and Schuster, 1982.

Nilsson, Lennart. *The Body Victorious: The Illustrated Story of Our Immune System and Other Defenses of the Human Body.* Trans. Clare James. New York: Delacorte Press, 1985.

Nilsson, Nils J. *Principles of Artificial Intelligence.* Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1980.

Nilsson, Nils J. and Bonnie Lynn Webber. *Readings in Artificial Intelligence.* Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1985.

Nocera, Joseph. *A Piece of the Action: How the Middle Class joined the Money Class.* New York: Simon and Schuster, 1994.

Norretranders, Tor. *The User Illusion: Cutting Consciousness Down to Size,* New York: Viking, 1998.
O'Keefe, Bernard J. *Nuclear Hostages.* Boston: Houghton-Mifflin Company, 1983.
Oakley, D. A., ed. *Brain and Mind.* London and New York: Methuen, 1985.
Oliver, Dick. *Fractal vision: Put Fractals to Work for You.* Carmel, IN: Sams Publishing, 1992.
Ornstein, Robert. *The Evolution of Consciousness: Of Darwin, Freud, and Cranial Fire; the origins of the Way We Think.* New York: Prentice-Hall Press, 1991.
———. *The Mind Field.* London: Octagon Press, 1976.
———. *Multimind: A New Way of Looking at Human Behavior.* Boston: Houghton-Mifflin, 1986.
———. *On the Experience of Time.* London: Penguin Books, 1969.
———. *The psychology of Consciousness.* Second ed. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1972.
———, ed. *The Nature of Human Consciousness: A Book of Readings.* New York: Viking, 1973.
Ornstein, Robert and Paul Ehrlich. *New World, New Mind: Moving Toward Conscious Evolution.* New York: Doubleday, 1989.
Ornstein, Robert and D. S. Sobel. *The Healing Brain.* New York: Simon and Schuster, 1987.
Ornstein, Robert and Richard F. Thompson. *The Amazing Brain.* Boston: Houghton-Mifflin, 1984.
Osherson, Daniel N., Michael Stob, and Scott Weinstein. *Systems That Learn: An Introduction to Learning Theory for Cognitive and Computer Scientists.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
Ouellette, Pierre. *The Deus Machine.* New York: Villard Books, 1994.
Owen, G. *The Universe of the Mind.* Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 1971.
Pagels, Heinz R. *The Cosmic Code: Quantum Physics as the Language of Nature.* New York: Bantam Books, 1983.
———. *The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity.* New York: Bantam Books, 1988.
———. *Perfect Symmetry: The Search for the Beginning of Time.* New York: Bantam Books, 1986.
Papert, Seymour. *The Children's Machine: Rethinking School in the Age of the Computer.* New York: Basic Books, 1993.
———. *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas.* New York: Basic Books, 1980.
Pascal, Blaise. *Pensees.* New York: E. R Dutton, 1932. Original, 1670.

Paul, Gregory S. and Earl D. Cox. *Beyond Humanity: Cyberevolution and Future Minds.* Rockland, MA: Charles River Media, 1996.

Paul, Richard P. *Robot Manipulators: Mathematics, Programming, and Control.* Cambridge, MA: MIT Press, 1981.

Paulos, John Allen. *Beyond Numeracy: Ruminations of a Numbers Man.* New York: Alfred A. Knopf, 1991.

Pavlov, I. P. *Conditioned Reflexes.* London: Oxford University Press, 1927.

Peat, F. David. *Artificial Intelligence: How Machines Think.* New York: Baen Enterprises, 1985.

——. *Synchronicity: The Bridge Between Matter and Mind.* Toronto: Bantam Books, 1987.

Peitgen, H. O., D. Saupe, et al. *The Science of Fractal Images.* New York: Springer-Verlag, 1988.

Peitgen, H. O., and P. H. Richter. *The Beauty of Fractals: Images of Complex Dynamical Systems.* Berlin: Springer-Verlag, 1986.

Penfield, W. *The Mystery of the Mind.* Princeton, NJ: Princeton University Press, 1975.

Penrose, R. and C. J. Isham, eds. *Quantum Concepts in Space and Time.* Oxford: Oxford University Press: 1986.

Penrose, Roger. *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics.* New York: Oxford University Press, 1989.

——. *Shadows of the Mind.* Oxford: Oxford University Press, 1994.

Pentland, Alex P., ed. *From Pixels to Predicates: Recent Advances in Computational and Robotic Vision.* Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, 1986.

Peterson, Dale. *Genesis II: Creation and Recreation with Computers.* Reston, VA: Reston Publishing Co., 1983.

Petroski, Henry. T*o Engineer Is Human: The Role of Failure in Successful Design.* New York: St. Martin's Press, 1985.

Piaget, Jean. *The Psychology of Intelligence. London: Routledge and Kegan Paul,* 1967.

Pickover, Clifford A. *Computers and the Imagination: Visual Adventures Beyond the Edge.* New York: St. Martin's Press, 1991.

Pierce, John R. *The Science of Musical Sound.* New York: Scientific American Books, 1983.

Pines, David, ed. *Emerging Syntheses in Science.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1988.

Pinker, Steven. *How the Mind Works.* New York: W. W. Norton and Company, 1997

——. *The Language Instinct.* New York: William Morrow, 1994.

——. *Language Learnability and Language Development.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1984.

———. *Learnability and Cognition: The Acquisition of Argument Structure.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

———. ed. *Visual Cognition.* Cambridge, MA: MIT Press, 1984

Pinker, Steven and J. Mehler, eds. *Connections and Symbols.* Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

Plato. Epinomis. *The Loeb Classical Library.* Ed. W. R. M. Lamb. Vol. 8. New York: G. P. Putnam's Sons, 1927.

———. *Protagoras and Meno.* Baltimore, MD: Penguin Books, 1956.

———. *Timaeus.* Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill, 1959.

Pollock, John. H*ow to Build a Person: A Prolegomenon.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

Poole, Robert M. *The incredible Machine.* Washington, D.C.: The National Geographic Society, 1986.

Poppel, Ernst. *Mindworks: Time and Conscious Experience.* Boston: Harcourt Brace Jovanovich, 1988.

Popper, Karl and John Eccles. *The Self and Its Brain. Berlin,* London: Springer-Verlag, 1977.

Posner, Michael I. and Marcus E. Raichle. *Images of Mind.* New York: Scientific American Library, 1994.

Potter, Jerry L., ed. *The Massively Parallel Processor.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

Poundstone, William. *Prisoner's Dilemma.* New York: Doubleday, 1992.

———. *The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge.* New York: William Morrow, 1985.

Pratt, Vernon. *Thinking Machines: The Evolution of Artificial Intelligence.* New York: Basil Blackwell, 1987.

Pratt, William K. *Digital Image Processing.* New York: John Wiley and Sons, 1978.

Price, Derek J. de Solla. *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism—A Calendar Computer from Circa 80 B.C.* New York: Science History Publications, 1975.

Prigogine, Ilya. *The End of Certainty: Time's Flow and the Laws of Nature.* New York: Simon and Schuster, 1997.

Prueitt, Melvin L. *Art and the Computer.* New York: McGraw-Hill, 1984.

Prusinkiewicz, Przemyslaw and Aristid Lindenmayer. *The Algorithmic Beauty of Plants.* New York: Springer-Verlag, 1990.

Rabiner, Lawrence R. and Ronald W. Schafer. *Digital Processing of Speech Signals.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1978.

RACTER. *The Policeman's Beard Is Half Constructed: Computer Prose and Poetry by RACTER.* {William Chamberlain and Joan Hall. I New York: Warner Books, 1984.

Radford, Andrew. *Transformational Syntax: A Student's Guide to Chomsky's Extended Standard Theory.* Cambridge: Cambridge University Press, 1981.

Raibert, Marc H. *Legged Robots That Balance.* Cambridge, MA: MIT Press, 1986.

Randell, Brian, ed. *The Origins of Digital Computers: Selected Papers.* New York: Springer-Verlag, 1975.

Raphael, Bertram. *The Thinking Computer: Mind Inside Matter.* San Francisco: W. H. Freeman, 1976.

Rasmussen, S., et al. "Computational Connectionism Within Neurons: A Model of Cytoskeletal Automata Subserving Neural Networks," *Emergent Computation.* Edited by Stephanie Forrest. Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

Raup, David M. *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?* New York: W. W. Norton, 1991.

Rawlings, Gregory J. E. *Moths to the Flame: The Seductions of Computer Technology.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Ree, Jonathan. *Descartes.* New York: Pica Press, 1974.

Reichardt, Jasia. *Robots: Fact, Fiction and Prediction.* Middlesex, UK: Penguin Books, 1978.

Reid, Robert H. *Architects of the Web: 1,000 Days That Built the Future of Business.* New York: John Wiley and Sons, 1997.

Restak, Richard M. (M.D.) *The Brain.* Toronto: Bantam Books, 1984.

Rheingold, Howard. *Virtual Reality.* New York: Summit Books, 1991.

Rich, Elaine. *Artificial Intelligence.* New York: McGraw-Hill, 1983.

Rich, Elaine and Kevin Knight. *Artificial Intelligence.* Second ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

Ringle, Martin D., ed. *Philosophical Perspectives in Artificial Intelligence.* Brighton, Sussex: Harvester Press, 1979.

Roads, Curtis, ed. *Composers and the Computer.* Los Altos, CA: William Kaufmann, 1985.

——, ed. *The Music Machine:* Selected Readings from "Computer Music Journal." Cambridge, MA: MIT Press, 1988.

Roads, Curtis and John Strawn. *Foundations of Computer Music.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

Robin, Harry and Daniel J. Kevles. *The Scientific Image: From Cave to Computer.* New York: Harry N. Abrams, 1992.

Rock, Irvin. *Perception.* New York: Scientific American Books, 1984.

Rogers, David F. and Rae A. Ernshaw, eds. *Computer Graphics Techniques: Theory and Practice.* New York: Springer-Verlag, 1990.

Rose, Frank. *Into the Heart of the Mind: An American Quest for Artificial Intelligence.* New York: Vintage Books, 1984.

Rosenberg, Jerry M. *Dictionary of Artificial Intelligence and Robotics.* New York: John Wiley and Sons, 1986.

Rosenblatt, Frank. *Principles of Neurodynamics.* New York: Spartan, 1962.

Rosenfield, Israel. *The Invention of Memory: A New View of the Brain.* New York: Basic Books, 1988.

Rothchild, Joan, ed. *Machina ex Dea: Feminist Perspectives on Technology.* New York: Pergamon Press, 1982.

Rothschild, Michael. *Bionomics: The Inevitability of Capitalism.* New York: Henry Holt and Company, 1990.

Rucker, Rudy. *Infinity and the Mind.* Boston: Birkhauser, 1982.

———. *Mind Tools: The Five Levels of Mathematical Reality.* Boston: Houghton-Mifflin Company, 1987.

———. *Software.* Middlesex, UK: Penguin Books, 1983.

Rumelhart, D. E., J. L. Mcclelland, and the PDP Research Group. *Parallel Distributed Processing.* Vols. 1 and 2. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.

Russell, Bertrand. *The ABC of Relativity.* Fourth ed. 1925. Reprint. London: Allen and Unwin, 1985.

———. *The Autobiography of Bertrand Russell: 1872-1914.* Toronto: Bantam Books, 1967.

———. *The Autobiography of Bertrand Russell: 1914-1944.* Toronto: Bantam Books, 1968.

———. *A History of Western Philosophy.* New York: Simon and Schuster, 1945.

———. *Introduction to Mathematical Philosophy.* New York: Macmillan, 1919.

———. *Mysticism and Logic.* New York: Doubleday Anchor Books, 1957.

———. *The Principles of Mathematics.* Reprint. New York: W. W. Norton & Company, 1996.

———. *The Problems of Philosophy.* New York: Oxford University Press, 1959.

Russell, Peter. *The Global Brain: Speculations on the Evolutionary Leap to Planetary Consciousness.* Los Angeles: J. R Tarcher, 1976.

Sabbagh, Karl. *The Living Body.* London: MacDonald & Company, 1984.

Sacks, Oliver. *The Man Who Mistook His Wife for a Hat and Other Clinical Tales.* New York: Harper and Row, 1985.

Sagan, Carl. *Contact.* New York: Simon and Schuster, 1985.

———. *The Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence.* New York: Ballantine Books, 1977.

———. ed. *Communication with Extraterrestrial Intelligence.* Cambridge, MA: MIT Press, 1973.

Sambursky, S. *The Physical World of the Greeks.* London: Routledge and Kegan Paul, 1963. Original, 1956.

Sanderson, George and Frank Mcdonald, eds. Marshall Mcluhan: *The Man and His Message.* Golden, CO: Fulcrum, 1989.

Saunders, Peter I. "The Complexity of Organisms." *Evolutionary Theory: Paths into the Future,* edited by J. W Pollard. New York: John Wiley and Sons, 1984.

Savage, John E., Susan Magidson, and Alex M. Stein. *The Mystical, Machine: Issues and Ideas in Computing.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

Saxby Graham. *Holograms: How to Make and Display Them.* London: Focal Press, 1980.

Sayre, Kenneth M. and Frederick J. Crosson. *The Modeling of Mind: Computers and Intelligence.* New York: Simon and Schuster, 1963.

Schank, Roger. *The Creative Attitude: Learning to Ask and Answer the Right Questions.* New York: Macmillan Publishing Company, 1988.

———. Dynamic Memory: *A Theory of Reminding and Learning in Computers and People.* Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

———. Tell Me a Story: *A New Look at Real and Artificial Memory.* New York: Charles Scribner's Sons, 1990.

Schank, Roger C. and Kenneth Mark Colby, eds. *Computer Models of Thought and Language.* San Francisco: W. H. Freeman, 1973.

Schank, Roger [with Peter G. Childers]. *The Cognitive Computer: On Language, Learning, and Artificial Intelligence.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.

Schilpp, R A., ed. *The Philosophy of Bertrand Russell.* Chicago: Chicago University Press, 1944.

Schon, Donald A. *Educating the Reflective Practitioner: Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions.* San Francisco: Jossey-Bass, 1987.

Schorr, Herbert and Alain Rappaport, eds. *Innovative Applications of Artificial Intelligence.* Menlo Park, CA: AAAI Press, 1989.

Schrodinger, Erwin. *What Is Life?* Cambridge: Cambridge University Press, 1967.

Schull, Jonathan. "Are Species Intelligent?" *Behavioral and Brain Sciences* 13:1 (1990).

Schulmeyer, G. Gordon. *Zero Defect Software.* New York: McGraw-Hill, 1990.

Schwartz, Lillian F. *The Computer Artist's Handbook: Concepts, Techniques, and Applications.* New York: W. W. Norton and Company, 1992.

Searle, John R. "Minds, Brains, and Programs." *The Behavioral and Brain Sciences.* Vol. 3. Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

———. *Minds, Brains and Science.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1985.

———. *The Rediscovery of the Mind.* Cambridge, MA: MIT Press, 1992.

Sejnowski, T. and C. Rosenberg. "Parallel Networks That Learn to Pronounce English Text." Complex Systems 1 (1987).

Serra, Jean, ed *Image Analysis and Mathematical Morphology.* Vol. 1. London: Academic Press, 1988.

———. ed. *Image Analysis and Mathematical Morphology.* Vol. 2: Theoretical Advances. London: Academic Press, 1988.

Shapiro, Stuart D., ed. *Encyclopedia of Artificial Intelligence.* 2 vols. New York: John Wiley and Sons, 1987.

———, Sharples, M. D., et al. *Computers and Thought: A Practical Introduction to Artificial Intelligence.* Cambridge, MA: MIT Press, 1989.

Shear, Jonathan, ed. *Explaining Consciousness—The* "Hard" Problem. Cambridge, MA: MIT Press, 1995-1997.

Shortliffe, E. MYCIN: *Computer-Based Medical Consultations.* New York: American Elsevier, 1976.

Shurkin, Joel. *Engines of the Mind: A History of the Computer.* New York: W. W. Norton, 1984.

Siekmann, Jorg and Graham Wrightson. *Automation of Reasoning 1: Classical Papers on Computational Logic 1957-1966.* Berlin: Springer-Verlag, 1983.

———. *Automation of Reasoning 2: Classical Papers on Computational Logic 1967-1970.* Berlin: Springer-Verlag, 1983.

Simon, Herbert A. *Models of My Life.* New York: Basic Books, 1991.

———. *The Sciences of the Artificial.* Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

Simon, Herbert A. and Allen Newell. "Heuristic Problem Solving: The Next Advance in Operations Research." *Operations Research.* Vol. 6. 1958.

Simon, Herbert A. and L. Siklossy, eds. *Representation and Meaning: Experiments with Information Processing Systems.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1972.

Simpson, George Gaylord. *The Meaning of Evolution. The New American Library of World Literature.* New York: A Mentor Book, 1951.

Singer, C., E. J. Holmyard, A. R. Hall, and T. I. Williams, eds. *A History of Technology.* 5 vols. Oxford: Oxford University Press, 1954-1958.

Singer, Michael A. *The Search for Truth.* Alachua, FL: Shanti Publications, 1974.

Slater, Robert. *Portraits in Silicon.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Smith, John Maynard. *Did Darwin Get It Right? Essays on Games, Sex and Evolution.* New York: Chapman and Hall, 1989.

Smullyan, Raymond. *Forever Undecided: A Puzzle Guide to Gödel.* New York: Alfred A. Knopf, 1987.

Solso, Robert L. *Mind and Brain Sciences in the 21st Century.* Cambridge, MA: MIT Press, 1997.

Soltzberg, Leonard J. *Sing a Song of Software: Verse and Images for the Computer-Literate.* Los Altos, CA: William Kaufmann, 1984.

Soucek, Branko and Marina Soucek. *Neural and Massively Parallel Computers: The Sixth-Generation.* New York: John Wiley and Sons, 1988.

Spacks, Barry. *The Company of Children.* Garden City, NY: Doubleday and Company, 1969.

Spinosa, Charles, Hubert L. Dreyfus, and Fernando Flores. *Disclosing New Worlds: Entrepreneurship, Democratic Action, and the Cultivation of Solidarity.* Cambridge, MA: MIT Press 1997.

Stahl, Franklin W. *The Mechanics of Inheritance.* Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1964, 1969.

Stein, Dorothy. *Ada: A Life and a Legacy.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

Sternberg, Robert J., ed. *Handbook of Human Intelligence.* Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

Sternberg, Robert J. and Douglas K. Detterman, eds. *What is intelligence? Contemporary Viewpoints on its Nature and Definition.* Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation, 1986.

Stewart, Ian. *Does God Play Dice?* New York: Basil Blackwell, 1989.

Stock, Gregory. *Metaman: The Merging of Humans and Machines into a Global Superorganism.* New York: Simon and Schuster, 1993.

Stork, David G. HAL *Legacy: 2001's Computer as Dream and Reality.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Strassmann, Paul A. *Information Payoff: The Transformation of Work in the Electronic Age.* New York: The Free Press, 1985.

Talbot, Michael. *The Holographic Universe.* New York: Harpercollins, 1991.

Tanimoto, Steven L. *The Elements of Artificial Intelligence: An Introduction Using LISP.* Rockville, MD: Computer Science Press, 1987.

Taylor, E Sherwood. *A Short History of Science and Scientific Thought.* New York: W. W. Norton and Company, 1949.

Taylor, Philip A., ed. *The Industrial Revolution in Britain: Triumph or Disaster?* Lexington, MA: Heath, 1970.

Thearling, Kurt. "How We Will Build a Machine That Thinks." A Workshop at Thinking Machines Corporation, August 24-26, 1992.

Thomas, Abraham. *The Intuitive Algorithm.* New Delhi: Affiliated East-West PVT, 1991.

Thomis, Malcolm I. *The Luddites: Machine Breaking in Regency England.* Hamden, CT: Archon Books, 1970.

Thorpe, Charles E. *Vision and Navigation: The Carnegie Mellon Navlab.* Norwell, MA: Kluwer Academic, 1990.

Thurow, Lester C. *The Future of Capitalism: How Today's Economic Forces Shape Tomorrow's World.* New York: William Morrow, 1996.

Time-Life Books. *Computer Images.* Alexandria, VA: Time-Life Books, 1986.

Tjepkema, Sandra L. *A Bibliography of Computer Music: A Reference for Composers.* Iowa City: University of Iowa Press, 1981.

Toepperwein, L. L., et al. *Robotics Applications for industry: A Practical Guide.* Park Ridge: Noyes Data Corporation, 1983.

Toffler, Alvin. *Powershift.* New York: Bantam Books, 1990.

———. The Third Wave: The Classic Study of Tomorrow. New York: Bantam Books, 1980.

Toffoli, Tommaso and Norman Margolis. *Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling.* Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Torrance, Stephen B., ed. *The Mind and the Machine: Philosophical Aspects of Artificial Intelligence.* Chichester, UK: Ellis Horwood, 1986.

Traub, Joseph E, ed. *Cohabiting with Computers.* Los Altos, CA: William Kaufmann, 1985.

Truesdell, L. E. *The Development of Punch Card Tabulation in the Bureau of the Census, 1890–1940.* Washington, D.C.: Government Printing Office, 1965.

Tafte, Edward R. *The Visual Display of Quantitative Information.* Cheshire, CT: Graphics Press, 1983.

———. *Visual Explanations: Images and Quantities, Evidence and Narrative.* Cheshire, CT: Graphics Press, 1997.

Turing, Alan. "Computing Machinery and Intelligence." *Reprinted in Minds and Machines,* edited by Alan Ross Anderson. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1964.

———. "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem" Proceedings, London Mathematical Society, 2, no. 42 (1936).

Tarkle, Sherry. *The Second Self: Computers and the Human Spirit.* New York: Simon and Schuster, 1984.

Tye, Michael. *Ten Problems of Consciousness: A Representational Theory of the Phenomenal Mind.* Cambridge, MA: MIT Press, 1995.

Ullman, Shimon. *The Interpretation of Visual Motion.* Cambridge, MA: MIT Press, 1982.

Usher, A. R. *A History of Mechanical Inventions.* Second ed. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1958.

Vaina, Lucia and Jaakko Hintikka, eds. *Cognitive Constraints on Communication.* Dordrecht, Netherlands: Reidel, 1985.

Van Heijenoort, Jean, ed. *From Frege to Gödel.* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1967.

Varela, Francisco J., Evan Thompson, and Eleanor Rosch. T*he Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience.* Cambridge, MA: MIT Press, 1991.

Vigne, V. "Technological Singularity." Whole Earth Review, Winter 1993.

von Neumann, John. *The Computer and the Brain.* New Haven, CT: Yale University Press, 1958.

Waddington, C. H. *The Strategy of the Genes.* London: George Allen and Unwin, 1957.

Waldrop, M. Mitchell. *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos.* New York: Simon and Schuster, 1992.

———. *Man-Made Minds: The Promise of Artificial Intelligence.* New York: Walker and Company, 1987.

Waltz, D. "Massively Parallel AI." Paper presented at the American Association of Artificial Intelligence (AAAI) conference, August 1990.

Waltz, David. *Connectionist Models and Their Implications: Readings from Cognitive Science.* Norwood, NJ: Ablex, 1987.

Wang, Dr. An. *Lessons: An Autobiography.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

Wang, Hao. *A Logical Journey: From Gödel to Philosophy.* Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

Warrick, Patricia S. *The Cybernetic Imagination in Science Fiction.* Cambridge, MA: MIT Press, 1980.

Watanabe, Satoshi. *Pattern Recognition: Human and Mechanical.* New York: John Wiley and Sons, 1985.

Waterman, D. A. and F. Hayes-Roth, eds, *Pattern-Directed Inference Systems.* Out of print.

Watson, J. B. *Behaviorism.* New York: Norton, 1925.

Watson, J. D. *The Double Helix.* New York: Atheneum, 1968.

Watt, Roger. *Understanding Vision.* London: Academic Press, 1991.

Webber, Bonnie Lynn and Nils J. Nilsson, eds. *Readings in Artificial Intelligence.* Los Altos, CA: Morgan Kaufmann, 1981.

Weinberg, Steven. *Dreams of a Final Theory.* New York: Pantheon Books, 1992.

———. *The First Three Minutes: A Modem View of the Origin of the Universe.* New York: Pantheon Books, 1977.

Weiner, Jonathan. *The Next One Hundred Years.* New York: Bantam Books, 1990.

Weinstock, Neal. *Computer Animation.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1986.

Weiss, Sholom M. and Casimir A. Kulikowski. *A Practical Guide to Designing Expert Systems.* Totowa, NJ: Rowman and Allanheld, 1984.

Weizenbaum, Joseph. *Computer Power and Human Reason.* San Francisco: W H. Freeman, 1976.

Werner, Gerhard. "Cognition as Self-Organizing Process." Behavioral and Brain Sciences 10, 2:183.

Westfall, Richard. *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton.* Cambridge: Cambridge University Press, 1980.

White, K. D. *Greek and Roman Technology.* London: Thames and Hudson, 1984.

Whitehead, Alfred N. and Bertrand Russell. *Principia Mathematica.* 3 vols. Second ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1925-1927.

Wick, David. *The Infamous Boundary: Seven Decades of Heresy in Quantum Physics.* Boston: Birkhauser, 1995.

Wiener, Norbert. *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine.* Cambridge, MA: MIT Press, 1965.

———. God and Golem, Inc.: *A Comment on Certain Points Where Cybernetics Impinges on Religion.* Cambridge, MA: MIT Press, 1985.

Wills, Christopher. *The Runaway Brain: The Evolution of Human Uniqueness.* New York: Basic Books, 1993.

Winkless, Nels and Then Browning. *Robots on Your Doorstep: A Book About Thinking Machines.* Portland, OR: Robotics Press, 1978.

Winner, Langdon. *Autonomous Technology: Technics-Out-of-Control as a Theme in Political Thought.* Cambridge, MA: MIT Press, 1977.

Winograd, Terry. *Understanding Computers and Cognition.* Norwood, NJ: Ablex, 1986.

———. *Understanding Natural Language.* New York: Academic Press, 1972.

Winston, Patrick Henry. *Artificial Intelligence.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.

———. *The Psychology of Computer Vision.* New York: McGraw-Hill, 1975.

Winston, Patrick Henry and Richard Henry Brown, eds. *Artificial Intelligence: An MIT Perspective.* Vol. 1. Cambridge, MA: MIT Press, 1979.

———, eds. *Artificial Intelligence: An MIT Perspective.* Vol. 2. Cambridge, MA: MIT Press, 1979.

Winston, Patrick Henry. and Karen A. Prendergast. *The AI Business: Commercial Uses of Artificial Intelligence.* Cambridge, MA: MIT Press, 1984.

Wittgenstein, Ludwig. *Philosophical Investigations.* Oxford: Blackwell, 1953.

———. *Tractatus Logico-Philosophicus.* London: Routledge and Kegan Paul, 1961.

Yavelow, Christopher. *Macworld Music and Sound Bible.* San Mateo, CA: IDG Books Worldwide, 1992.

Yazdani, M. and A. Narayanan, eds. *Artificial Intelligence: Human Effects.* Chichester, UK: Ellis Horwood, 1984.

Yovits, M. C. and S. Cameron, eds. *Self-Organizing Systems.* New York: Pergamon Press, 1960.

Zadeh, Lofti. *Information and Control.* Vol 8. New York: Academic Press, 1974.

Zeller, Eduard. *Plato and the Older Academy.* Reprint ed. New York: Russell and Russell, 1962.

Zue, Victor W, Francine R. Chen, and Lori Lamel. *Speech Spectrogram Reading: An Acoustic Study of English Words and Sentences.* Cambridge, MA: MIT Press. Lecture Notes and Spectrograms, July 26-30, 1982

# روابط على شبكة الإنترنت

The following is a catalog organized by subject of World Wide Web sites relevant to topics in the book. Remember that compared to books listed in a bibliography, web sites are not nearly as long lasting. These sites were all verified when the book went to press, but inevitably some will become inactive. The Web, unfortunately, is littered with nonfunctioning sites.

SITES RELEVANT TO THE BOOK

*Web site for the book The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence* by Ray Kurzweil:
<http://www.penguinputnam.com/kurzweil>
To e-mail the author:
raymond@kurzweiltech.com
To download a copy of Ray Kurzweil's Cybernetic Poet:
<http://www.kurzweiltech.com>
This book's publisher, Viking:
<http://www.penguinputnam.com>
For publications of Ray Kurzweil:
Go to <http://www.kurzweiltech.com> or <http://www.kurzweiledu.com> and then select «Publications»

WEB SITES FOR COMPANIES FOUNDED BY RAY KURZWEIL

Kurzweil Educational Systems, Inc. (creator of print-to-speech reading systems for persons with reading disabilities and visual impairment):
<http://www.kurzweiledu.com>
Kurzweil Technologies, Inc. (creator of Ray Kurzweil's Cybernetic Poet and other software projects):
<http://www.kurzweiltech.com>
The dictation division of Lernout & Hauspie Speech Products (formerly Kurzweil Applied Intelligence, Inc.), creator of speech recognition and natural language software systems:

<http://www.lhs.com/dictation/>
The overall Lernout & Hauspie web site:
<http://www.lhs.com/>
Kurzweil Music Systems, Inc., creator of computer-based music synthesizers, sold to Young Chang in 1990:
<http://www.youngchang.com/kurzweil/index.html>
Textbridge Optical Character Recognition (OCR). Formerly Kurzweil OCR from Kurzweil Computer Products, Inc. (sold to Xerox Corp. in 1980):
<http://www.xerox.com/scansoft/textbridge/>

## ARTIFICIAL LIFE AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH

The Artificial Intelligence Laboratory at Massachusetts Institute of Technology (MIT):
<http://www.ai.mit.edu/>
Artificial Life Online:
<http://alife.santafe-edu>
Contemporary Philosophy of Mind: An Annotated Bibliography:
<http://ling.ucsc.edu/~chalmers/biblio.html>
Machine Learning Laboratory, the University of Massachusetts, Amherst:
<http://www-ml.cs.umass.edu/>
The MIT Media Lab:
<http://www.media.mit.edu/>
SSIE 58OB: Evolutionary Systems and Artificial Life, by Luis M. Rocha, Los Alamos National Laboratory:
<http://www.c3.lanl.gov/~rocha/ss504_02.html>
Stewart Dean's Guide to Artificial Life:
<http://www.webslave.dircon.co.uk/alife/intro.html>

## ASTRONOMY/PHYSICS

American Institute of Physics:
<http://www.aip.org/history/einstein/>
International Astronomical Union (IAU):
<http://www.intastun.org/>
*Introduction to the Big Bang Theory*:
<http://www.bowdoin.edu/dept/physics/astro.1997/astro4/bigbang.html>

## BIOLOGY AND EVOLUTION

American Scientist Article: Reward Deficiency Syndrome:
<http://www.amsci.org/amsci/Articles/96Articles/Blum-full.html>

Animal Diversity Web Site, the Museum of Zoology at the University of Michigan:
<http://www.oit.itd.umich.edu/projects/ADW/>
Charles Darwin's Origin of Species:
<http://www.literature.org/Works/Charles-Darwin/origin/>
Evolution and Behavior:
<http://ccp.uchicago.edu/~jyin/evolution.html>
The Human Genome Project:
<http://www.nhgri.nih.gov/HGP/>
Information Processing in the Human Body:
<http://vadim.www.media.mit.edu/MAS862/Project.html>
Thomas Ray/Tierra:
<http://www.hip.atr.co.jp/~ray/>
The Visible Human Project:
<http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible human.html>

BRAIN IMAGING RESEARCH

Brain Research Web Page, Jeffrey H. Lake Research:
<http://www.brainresearch.com/>
Applications of brain research:
<http://www.brainresearch.com/apps.html>
Amiram Grinvald's web site: Imaging the Brain in Action:
<http://www.weizmann.ac.il/brain/grinvald/grinvald.htm>
The Harvard Brain Tissue Resource Center:
<http://www.brainbank.mclean.org:8080>
The Mclean Hospital Brain Imaging Center:
<http://www.mclean.org:8080/>
Optical Imaging, Inc., Home Page:
<http://opt-imaging.com/>
Research Imaging Center: Solving the Mysteries of the Mind, University of Texas Health Science Center at San Antonio:
<http://biad63.uthscsa.edu/>
Visualization and Analysis of 3D Functional Brain Images, by Finn A rup Nielsen, Institute of Mathematical Modeling, Section for Digital Signal Processing, former Electronics Institute, Technical University of Denmark:
<http://hendrix.ei.dtu.dk/staff/students/fnielsen/thesis/finn/fin n.html>
Weizmann Institute of Science:
<http://www.weizmann.ac.il/>
The Whole Brain Atlas:
<http://www.med.harvard.edu/AANLIB/home.html>

## COMPUTER BUSINESS/MEDICAL APPLICATIONS

Automated Highway System DEMO; National AHS Consortium Home Page:
<http://monolith-mis.com/ahs/default.htm>
Biometric (The Face Recognition Home Page):
<http://cherrykist.re.kr/center/html/sites.html>
Face Recognition Homepage:
<http://www.cs.rug.nl/~peterkr/FACE/face.html>
The Intelligent Vehicle Initiative: Advancing «Human-Centered» Smart Vehicles:
<http://www.tfhrc.gov/pubrds/pr97-10/p18.htm>
Kurzweil Educational Systems, Inc.:
<http://www.kurzweiledu.com/>
Kurzweil music (Welcome to Kurzweil Music Systems):
<http://www.youngchang.com/kurzweil/index.html>
Laboratory for Financial Engineering at MIT:
<http://web.rnit.edu/lfe/www/>
Lernout & Hauspie Speech Products:
<http://www.lhs.com>
Medical Symptoms Matching Software:
<http://www.ozemail.com.au/~lisadev/sftdocpu.htm>
Miros Company Information:
<http://www.miros.com,/About_Miros.htm>
Synaptics, Inc.:
<http://www.synaptics.com/>
Systran:
<http://www.systransoft.ccm/>

## COMPUTERS AND ART/CREATIVITY

Arachnaut's Lair - Electronic Music Links:
<http://www.arachnaut.org/music/links.html>
Artspace: Computer Generated Art:
<http://www.uni.uiuc.edu/~artspace/compgen.html>
BRUTUS.1 Story Generator:
<http://www.rpi.edu/dept/ppcs/BRUTUS/brutus.html>
But Is It Computer Art?:
<http://www.cs.swarthmore.edu/~binde/art/index.html>
Computer Artworks, Ltd.:
<http://www.artworks.co.uk/welcome.htm>
Computer Generated Writing:
<http://www.notam.uio.no/~mariusw/c-g.writing/>
Northwest Cyberartists: Time Warp of Past Events:

<http://www.nwlink.com/cyberartists/timewarp.html>
Music Software:
<http://www.yahoo.com/Entertainment/Music/Software/>
An OBS Cyberspace Extension of Being Digital, by Nicholas Negroponte:
<http://www.obs-us.com/obs/english/books/nn/bdintro.htm>
Ray Kurzweil's Cybernetic Poet:
<http://www-kurzweiltech.com>
Recommended Reading, Computer Art:
<http://ananke.advanced.org/3543/resourcessites.html>
Virtual Muse: Experiments in Computer Poetry:
<http://camel.conncoll.edu/ccother/cohar/programs/index.html>

COMPUTERS AND CONSCIOUSNESS/SPIRITUALITY

Considerations on the Human Consciousness:
<http://www.mediacom,it/~v.colaciuri/consc.htm>
Extropy Online, Arterati on Ideas, by Natasha Vita More; Vinge's View of the Singularity:
<http://www.extropycom/~exi/eo/articles/vinge.htm>
God and Computers:
<http://web.mit.edu/bpadams/www/gac/>
Kasparov vs. Deep Blue: The Rematch:
<http://www.nytimes.com/partners/microsites/chess/archive8.html>
Online papers on consciousness, compiled by David Chalmers:
<http://ling.ucsc.edu/~chalmers/mind.html>
Toward a Science of Consciousness 1998 «Tucson III,» Conference, The University of Arizona, Tucson, Arizona. Support provided by the Fetzer institute and the Institute of Noetic Sciences:
<http://www.zynet.co.uk/imprint/Tucson/>

COMPUTING SCIENCE RESEARCH

Defining Virtual Reality, Industry Consortium in the Institute for Communication Research, Department of Communication, Stanford University:
<http://www.cyborganic.com/people/jonathan/Academia/Papers/Web/defining-v.html>
Computer Games: Past, Present, Future:
<http://www.bluetongue.com/~pang/DRAFT.html>
The Haptics Community Web Page:
<http://haptic.mech.nwu.edu>
Modeling and Simulation: Linking Entertainment and Defense:
<http://www.nap.edu/readingroom/books/modeling/index.html>

Physics News Update Number 219 - The Density of Data. A link to Lambertus Hesselink's research on crystal computing:
<http://www.aip.org/enews/physnews/1995/split/pnu2l9-2.htm>
Student cracks encryption code. A link to an article in USA Today on how Ian Goldberg, the graduate student from the University of California, cracked the 40-bit encryption code:
<http://www.usatoday.com/life/cyber/tech/ct718.htm>

## Autonomous Agents

Agent Web Links:
<http://www.cs.bham.ac.uk/~amw/agents/links/index.html>

## Computer Vision

Computer Vision Research Groups:
<http://www.cs.cmu.edu/~cil/v-groups.html>

## DNA Computing

«DNA-based computers could race past supercomputers, researchers predict.» A link to an article in the Chronicle of Higher Education on DNA computing, by Vincent Kiernan:
<http://chronicle.com/data/articles.dir/art-44.dir/issue14.dir/14a0230l .htm>
Explanation of Molecular Computing with DNA, by Fred Hapgood, Moderator of the Nanosystems Interest Group at MIT:
<http://www.mitre.org/research/nanotech/hapgood_on_dna.html>
The University of Wisconsin: DNA Computing:
<http://corninfo.chem.wisc.edu/writings/DNACOMPUTING.html>

## Expert Systems/Knowledge Engineering

Knowledge Engineering, Engineering Management Graduate Program at Christian Brothers University: Online Resources to a Variety of Links:
<http://www.cbu.edu/~pong/engm624.htnl>

## Genetic Algorithms/Evolutionary Computation

The Genetic Algorithms Archive at the Navy Center for Applied Research in Artificial Intelligence:
<http://www.aic.nrl.navymil/galist/>
The Hitchhiker's Guide to Evolutionary Computation, Issue 6.2: A List of Frequently Asked Questions (FAQ), edited by Jörg Heitkötter and David Beasley:

<ftp://ftp.cs.wayne.edu/pub/EC/FAQ/www/top.htm>
The Santa Fe Institute:
<http://www.santafe.edu>

## Knowledge Management

ATM Links (Asynchronous Transfer Mode):
<http://www.ee.cityu.edu.hk/~splam/html/atmlinks.html>
Knowledge Management Network:
<http://kmn.cibit.hvu.nl/index.html>
Some Ongoing KBS/Ontology Projects and Groups:
<http://www.cs.utexas.edu/users/mfkb/related.html>

## Nanotechnology

Eric Drexler's web site at the Foresight institute (includes the complete text of Engines of Creation):
<http://www.foresight.org/EOC/index.html>
Richard Feymnan's talk, «There's Plenty of Room at the Bottom»:
<http://nano.xerox.com/nanotech/feynman.html>
Nanotechnology: Ralph Merkle's web site at the Xerox Palo Alto Research Center:
<http://sandbox.xerox.com/nano>
Microelectromechanical Systems and Fluid Dynamics Research Group Professor Chih-Ming Ho's Laboratory, University of California at Los Angeles:
<http://ho.seas.ucla.edu/new/main.htm>
Nanolink: Key Nanotechnology Sites on the Web:
<http://sunsite.nus.sg/MEMEX/nanolink.html>
Nanothinc:
<http://www.nanothinc.com/>
NEC Research and Development Letter: A summary of Dr. Sumio Iijima's research on nanotubes:
<http://www.labs.nec.co.jp/rdletter/letter01/index1.html>
An Overview of the Performance Envelope of Digital Micromirror Device (DMD) Based Projection Display System by Dr. Jeffrey Sampsell of Texas Instruments. A link to a paper describing the creation of micromirrors in a tiny, high-resolution projector:
<http://www.ti.com/dlp/docs/it/resources/white/overview/over.shtm l>
Small Is Beautiful: A Collection of Nanotechnology Links:
<http://science.nas.nasa.gov/Groups/Nanotechnology/nanotech.html>
Center for Nanoscale Science and Technology at Rice University:
<http://cnst.rice.edu/>
The Smart Matter Research Group, Xerox Palo Alto Research Center:

<http://www.parc.xerox.com/spl/projects/smart-matter/>
Richard Smalley's home page:
<http://cnst.rice.edu/reshome.html>

## Neural Implants/Neural Prosthetics

Membrane and Neurophysics Department, the Max Planck Institute for Biochemistry:
<http://mnphys.biochem.mpg.de/>
«Neural Prosthetics Come of Age as Research Continues,» by Robert Finn, in the Scientist. A link to an article on the use of neural prosthetics in helping patients with neurological disorders:
<http://www.the-scientist.library.upenn.edu/yr1997/sept/research_970929.html>
Physics of Computation-Carver Mead's Group:
<http://www.pcmp.caltech.edu/>

## Neural Nets

Brainmaker/California Scientific's home page:
<http://www.calsci.com/>
Hugo de Garis's web site on Brain Builder Group:
<http://www.hip.atr.co.jp/~degaris>
IEEE Neural Network Council Home Page:
<http://www.ewh.ieee.org/tc/nnc/>
Neural Network Frequently Asked Questions:
<ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html>
PROFIT Initiative at MIT's Sloan School of Management:
<http://scanner-group.mit.edu/>

## Quantum Computing

The Information Mechanics Group/Lab for Computer Science at MIT:
<http://www-im.lcs.mit.edu/>
Quantum computation/cryptography at Los Alamos National Laboratory:
<http://qso.lanl.gov/qc/>
Physics and Media Group at the MIT. Media Lab:
<http://physics.www.media.mit.edu/home.html>
Quantum Computation at IBM:
<http://www.research.ibm.com/quantuminfo/>

## Supercomputers

Accelerated Strategic Computing Initiative:
<http://www.llnl.gov/asci>

Lawrence Livermore National Laboratory/University of California for the U.S. Department of Energy:
<http://www.llnl.gov/>
NEC Begins Designing World's Fastest Computer:
<http://www.nb-pacifica.com/headline/necbeginsdesigningwo_1208.sh tml>

## FUTURE VISIONS

ACM 97 «The Next 50 Years» (Association for Computing Machinery):
<http://research.microsoft.com/acm97/>
The Extropy Site (a web site and on-line magazine covering a wide range of advanced. and future technologies)
<http://www.extropy.org>
SETI Institute web site:
<http://www.seti.org>
WTA: The World Transhumanist Association:
<http://www.transhumanism.com/>

## HISTORY OF COMPUTERS

Advances of the 1960s:
<http://www.inwap.com/reboot/alliance/1960s.txt>
BYTE Magazine-December 1996/Cover Story/Progress and Pitfalls:
<http://www.byte.com/art/9612/sec6/art3.htm>
History of Computing: IEEE Computer Society:
<http://www.computer.org/50/>
The Historical Collection, the Computer Museum History Center:
<http://www.tcm.org/html/history/index.html>
Intel Museum Home Page: What is Moore's Law?:
<http://www.pentium.com/intel/museum/25anniv/hof/moore.htm>
SPACEWAR: Fanatic Life and Symbolic Death Among the Computer Bums, by Stewart Brand:
<http://www.baumgart.com/rolling-stone/spacewar.html>
Timeline of Events in Computer History, from the Virtual History Museum Group:
<http://video.cs.vt.edu:90/cgi-bin/Showmap>
Chronology of Events in the History of Computers:
<http://www3.islandnet.com/~kpolssori/comphist.htm>
Unisys History Newsletter:
<http//www.cc.gatech.edu/services/unisys-folklore/>

## INDUSTRIAL REVOLUTION AND LUDDITES/NEOLUDDITE MOVEMENT

Anarcho-Primitivist, anticivilization, and neo-Luddite articles:
<http://elaine.teleport.com/~jaheriot/anarprim.htm>
What's a Luddite?:
<http://www.bigeastern.com/ludd/nl_whats.htm>
Luddites On-Line:
<http://www.luddites.com/index2.html>
The Unabomber Manifesto by Ted Kaczynski:
<http://www.soci.niu.edu/~critcrim/uni/uni.txt>



رقم إيداع ١٣٥٤٤/ ٢٠٠٩
ISBN 978 977 6263 31 4

## نبذة عن المترجم:

ولد محمد عزت عامر سنة ١٩٤٤، تخرج في كلية هندسة الطيران، جامعة القاهرة سنة ١٩٦٩. محرر علمى ومترجم عن الإنجليزية والفرنسية، له ترجمات عدة نشرت في المجلات والصحف العربية.

عمل محررًا لصفحة العلم والتكنولوجيا في صحيفة «العالم اليوم» المصرية، كما كان مسؤولًا عن صفحة يومية وصفحة طبية أسبوعية في صحيفة «الاقتصادية» السعودية.

من الكتب التي ترجمها: «حكايات من السهول الأفريقية»، و«بلايين وبلايين» لكارل ساجان، و«يا له من سباق محموم» لفرانسيس كريك، و«الانفجار العظيم» لجيمس ليتسى.

# عصر الآلات الرُّوحية

تخيل عالمًا يكاد يتلاشى فيه الفارق بين الإنسان والآلة، ويصير الخط الفاصل بين الإنسانية والتكنولوجيا باهتًا، وتتحد فيه الروح ورقائق السيليكون. ليس هذا خيالًا علميًّا، بل هذا هو القرن الحادي والعشرون كما صوره راي كيرزويل مخترع أكثر تكنولوجيات العصر إبداعًا وتأثيرًا، فبين يديه المبدعتين لم تعد الحياة في الألفية الجديدة تبدو مفزعة، بل إنها تبشر بأنها ستكون عصرًا يؤدي فيه الاتحاد بين الشعور الإنساني والذكاء الصناعي إلى الارتقاء بأسلوب حياتنا.

وكتاب كيرزويل ليس مجرد مجموعة من النبوءات، فهذا المخطط التنبؤي للمستقبل يطوف بنا في جولة يستعرض فيها التطورات المتعاقبة التي ستنتهي إلى: تفوق الحواسيب بحلول عام ٢٠٢٠ على العقل البشري من حيث سعة الذاكرة والقدرات الحسابية (لكن الهوة لن تكون واسعة)، وإنشاء علاقات مع شخصيات آلية سيكون منها معلمونا ورفاقنا وأحباؤنا، واستخدام وسائل عصبية لتغذية عقولنا بالمعلومات مباشرة. وفي النهاية سيتضاءل الفارق كثيرًا بين البشر والحواسيب حتى إننا سنصدق الآلات عندما تدعي أن لها وعيًا.

تضم اختراعات راي كيرزويل أجهزة قراءة لفاقدي البصر، وأجهزة تخليق الأصوات الموسيقية التي يستخدمها ستيفي وندر وكثيرون غيره، وتقنية للتعرف على الأصوات، وهو مؤلف كتاب «عصر الآلات الذكية» The Age of Intelligent Machines الذي فاز بجائزة اتحاد الناشرين الأمريكيين لأفضل كتاب في علوم الحاسوب لعام ١٩٩٠، وكتاب «فقط ١٠٪ لحياة صحية» The 10% Solution for a Healthy Life. وفاز راي كيرزويل أيضًا بجائزة ديكسون وجائزة كارنيجي ميلون العلمية الكبرى لعام ١٩٩٤، ومنحه معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا لقب «مخترع العام» في ١٩٨٨، وفاز إلى جانب ذلك بتسع درجات فخرية، وكرمه اثنان من رؤساء الولايات المتحدة.

٥٢٨ صفحة

http://www.kalimatarabia.com

ISBN 978-977-6263-31-4









